

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta dopravní

Ústav letecké dopravy
Obor: Letecká doprava



Projekt na zástavbu LARS (Light
weight aircraft recording system)
do CS-23

Installation of LARS into the CS-23
aircraft category

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval: Karel Kédl
Vedoucí práce: Ing. Vladimír Machula
Rok: 2019



K621**Ústav letecké dopravy**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Karel Kédl

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Projekt na zástavbu LARS do CS-23**

Název tématu (anglicky): Installation of LARS into the CS-23 Aircraft Category

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Klasifikace změny
- Požadavky na LARS
- Stanovení předpisové základny
- Plnění předpisové základny
- Další certifikační dokumentace
- Přínos LARS pro provozovatele letadel



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: EUROCAE ED 155
CS-23 Normal, Utility, Aerobatic and Commuter
Aeroplanes
ToR RMT.0271 & 0272 (MDM.073(a) & (b)) — ISSUE
1

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladimír Machula**
doc. Ing. Bc. Jakub Hospodka, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: **19. října 2018**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **2. prosince 2019**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Karel Kédli
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 30. srpna 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Projekt na zástavbu LARS (Light weight aircraft recording system) do CS-23 vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

Prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Děčíně dne

.....

Karel Kédl

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkovala všem, kteří mne při tvorbě této práce podpořovali.

Karel Kédľ

Název práce:

**Projekt na zástavbu LARS (Light weight aircraft recording system)
do CS-23**

Autor: Karel Kédľ

Studijní program: Technologie v dopravě a spojích

Obor: Letecká doprava

Druh práce: Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Machula

Ústav letecké dopravy, Fakulta dopravní, České vysoké učení tech-
nické v Praze

Konzultant: –

Abstrakt: Popis práce česky

Klíčová slova

Title:

Installation of LARS into the CS-23 aircraft category

Author: Karel Kédľ

Abstract: Popis práce anglicky

Key words

Obsah

Úvod	11
1 Klasifikace změny	13
1.1 Standardní změny	13
1.2 Nevýznamné změny	15
1.3 Významné změny	16
1.4 Klasifikace změny pro instalaci LARS	16
1.4.1 Oprávněná organizace pro projektování	17
2 Požadavky na LARS	18
2.1 Kvalifikace zařízení	20
2.1.1 Odolnost vůči vnějšímu prostředí DO-160	20
2.1.2 Normalizační příkaz ETSO 2C197	21
2.1.3 Standard minimální provozní výkonnosti ED-155	22
2.2 Lehké zapisovače letových dat	23
2.2.1 Základní přehled dostupných zařízení	26
LDR 1000	26
ETEP sentinel	27
Apibox	28
3 Stanovení předpisové základny	30
3.1 Program certifikace	30
3.1.1 Popis projektu	31
3.1.2 Předpisová základna	31
3.1.3 Kontrolní seznam průkazů (CCL)	31
3.1.4 Určení příslušného personálu	31
4 Plnění předpisové základny	35
4.1 Prohlášení o plnění předpisové základny MC 0	35
5 Další certifikační dokumentace	37
5.1 Přezkoumání návrhu MC1	37
5.1.1 Doplněk do pilotní příručky	37
5.1.2 Instrukce pro zachování letové způsobilosti	37
5.1.3 Příručka údržby	38
5.1.4 Instrukce pro údržbu	38
5.2 Výpočty MC 2	39
5.2.1 Hmotnost a těžiště	39
5.2.2 Energetická bilance	40
5.2.3 V případě, že analýza pro dané letadlo není dostupná	41
5.3 Analýza bezpečnosti systému MC 3	41
5.3.1 Posouzení selhání funkce zapisovače	42

5.4	Pozemní zkoušky MC 5	44
5.4.1	Elektromagnetická kompatibilita	44
5.5	Letové zkoušky MC 6	45
6	Přínos LARS pro provozovatele letadel	47
6.1	Sledování letových parametrů	47
6.1.1	Bezpečnostní výhody	48
6.1.2	Provozní výhody	48
	Závěr	49
	Literatura	50

Zkratka		Význam
AC	Advisory Circular	
ADRS	Aircraft Data Recording Systems	Zapisovač letových dat
AIRS	Airborne image recording systems	Letový zapisovač obrazového záznamu
AMC	Acceptable Means of Compliance	Přijatelné způsoby vyhovění
AMDT	Amendment	Oprava/ změna
BIST	Built In Self Test	Vestavěný vnitřní test
CARS	Cockpit Audio Recording Systems	Letový zapisovač zvuku
CAT	Commercial air Transport	obchodní letecká doprava
CVE	Compliance Verification Engineer	Inženýr pro ověření shody
CVR	Cockpit Voice Recorder	Zapisovač hlasu v pilotní kabině
DAL	Design Assurance Level	Stupeň zabezpečení návrhu
DDP	Declaration of Design and Performance	Prohlášení o konstrukci a výkonnosti
DLRS	Data-Link Recording Systems	Letový zapisovač datové komunikace
DOA	Design Organisations Approvals	Oprávněná projektční organizace
EASA	European Aviation Safety Agency	Evropský úřad pro bezpečnost v civilním letectví
ED	Eurocae Document	Eurocae dokument
EQF	Equipment Qualification Form	Osvědčení vybavení odolnosti vůči okolním vlivům
ETSO	European Technical Standart Order	Evropský technický normalizační příkaz
ETSOA	European Technical Standart Order Approval	Evropský technický normalizační příkaz (oprávnění)
FAA	Federal Aviation Administration	Federální letecká správa
FDAU	Flight Data Acquisition Unit	Jednotka pro sběr letových dat
FDM	Flight Data Monitoring	Monitoring letových údajů
FDR	Flight Data Recorder	Zapisovač letových údajů
FHA	Functional Hazard Assessment	Selhání funkce a vliv na bezpečnost
ICA	Instruction for Continued Airworthines	Instrukce pro zachování letové způsobilosti
ICMS	Information Collection and Monitoring Systems	Sběr a monitoring letových údajů
iFDR	Independent Flight Data Recorder	Zapisovač nezávislý na vnějších vstupech
IMU	Inertial Measurement Unit	Inerciální měřicí jednotka
LARS	Lightweight Aircraft Recording System	Lehký letový zapisovač dle ED-155 s funkcí QAR
MC	Means of Compliance	Způsoby vyhovění
MCA	Minor Change Approval	Schválení nevýznamné změny
MCTOM	Maximum certified take-off mass	maximální schválená vzletová hmotnost
MOPS	Minimum Operational Performance Specification	Standardy minimální provozní výkonnosti
MOPSC	Maximum Operational Passenger Seating Configuration	maximální provozní konfigurace sedadel pro cestující
MPSC	Maximum Passenger Seating Capacity	
NCC	non-commercial operations with complex motor-powered aircraft	neobchodní lety se složitými motorovými letadly

NCO	non-commercial operations with other-than-complex motor-powered aircraft	neobchodní provoz s jinými než složitými motorovými letadly
NPA	Notice of Proposed Amendment	Oznámení o navrhované změně
OEM	Original Equipment Manufacturer	Výrobce zařízení
QAR	Quick Access Recorder	Zapisovač pro rychlý přístup
OSD	Operation Suitability Data	Údaje provozní vhodnosti
SC/SR	Standard Change/Standard Repair	Standardní změny/Standardní opravy
SPO	Commercial Specialised Operations	Zvláštní a obchodní provoz
STC	Supplementary Type Certificate	Doplňkové typové osvědčení
TC	Type Certificate	Typové osvědčení
TCCA	Transport Canada Civil Aviation	
TCDS	Type Certificate Datasheet	Příloha k typovému certifikátu

Úvod

Rychle se rozvíjející oblast civilního letectví a obchodní dopravy na začátku 20. století neměla takový statut jako je tomu dnes. Na samotném úsvitu letecké dopravy byla dopravní letadla nespolehlivá, nepohodlná, létalo se v malých výškách a relativně pomalu. Bylo to cestování spíše pro dobrodruhy. Oproti tomu dnes je letecká doprava velmi spolehlivá a bezpečná. Pravděpodobnost úmrtí v dopravním letadle následkem letecké nehody¹ je menší než v při cestě na motorce. Řádově je to 10^{-7} oproti 10^{-4} . Takového výsledku bylo možné dosáhnout díky rozvoji technologií a také poučením se z chyb. Téměř každá letecká nehoda vede k vydání bezpečnostních doporučení a následně tak ovlivní další provoz, výcvik posádek, údržbu anebo konstrukci letadel. Tím ve výsledku pomůže ke zvýšení celkové bezpečnosti. Pro úspěšné zjišťování příčin leteckých nehod je nezbytné co možná nejdetailněji rekonstruovat průběh letu, činnost posádky během letu a technický stav letadla. Cenné údaje o průběhu letu poskytne zapisovač letových údajů (FDR) a zapisovač hlasu v pilotní kabině (CVR). Letové zapisovače se vyvíjely společně s dopravními letadly. Od dob prvních zapisovačů, které používaly jako médium pro záznam kovovou fólii, které zaznamenávaly přímo nezpracovaná data. Zpravidla pouze 5 nebo 6 parametrů jako například v Boeingu 707. Následovaly digitální zapisovače, které zapisovaly údaje na magnetickou pásku, pro příklad zapisovač v Airbusu 330, 280 parametrů. Až k dnešním zapisovačům zapisující na SSD disky, které zaznamenávají více než 1000 parametrů. [1]

Různé závěrečné zprávy z šetření leteckých nehod viz oznámení o navrhované změně (NPA2017-3) [2] lehkých letadel uváděly nedostatečné objasnění okolností a příčin nehody a z toho důvodu vydávaly jako závěrečné doporučení rozšířit povinnost instalace zapisovačů i na lehká letadla. Data uložená v takovýchto zapisovačích by měla být dostupná i po havárii. V dokumentu NPA 2017-3 jehož předmětem je rozšíření povinnosti instalace letových zapisovačů i na lehká letadla provozovaná v obchodní letecké dopravě. Tato množina letadel je samozřejmě malá jak je patrné z CRD (comment response document) provozovatelé nepřijali návrh na novou povinnost s nadšením, protože náklady na dodatečné vybavení se promítne v ceně letadel.

V NPA 2017-3 je navržen tento nový bod provozního předpisu pro obchodní lety: CAT.IDE.A.191 Lightweight flight recorders.

Zde jsou zmíněny lehké letové zapisovače a povinnost se vztahuje až na letadla jejichž osvědčení letové způsobilosti bylo vydáno 3 roky po schválení dodatku k nařízení EU 965/2012.

Jako žádoucí je také zmíněna podpora dobrovolné instalace lehkých letových zapisovačů. Nicméně jsem nezaznamenal ze strany EASA žádné konkrétní kroky.

¹nehoda podle ICAO je událost spojená s provozem letadla, která vyústila ve smrt nebo vážné poškození zdraví jedné nebo více osob, podstatné poškození nebo ztrátu letadla.

Návrh na MOPS pro lehké letové zapisovače už v roce 2009 představilo Eurocae v dokumentu ED-155. V návrhu dodatku NPA2017-3 k předpisu 965/2012 je ED-155 definován jako výchozí standard minimální provozní výkonnosti.

Návrh dodatku je zároveň snaha o větší harmonizaci předpisů s ICAO annex 6, konkrétně v tomto případě se skutečností, že v annexu 6 je předepsána pro některé kategorie malých letounů a vrtulníků provozovaných pro obchodní leteckou dopravu nutnost instalace letového zapisovače. Dopad takové legislativy je značný a je to zmíněno v dokumentu NPA 2017-03 [2]. Tato změna by se dotýkala leteckých provozovatelů, výrobců letadel, pilotů, orgánů šetřící letecké nehody a národních leteckých úřadů. Obava zúčastněných stran spočívá hlavně v proporcionalitě navrhované legislativy, kdy tato navrhovaná legislativa dopadá i na provoz NCC a SPO

Nová legislativa počítá se zavedením povinnosti mít na palubě zapisovač letových dat pro nově postavená letadla (platí 3 roky od data vydání nařízení). Pro lehká letadla čímž se pro tento účel rozumí letouny v rozmezí MCTOM do a včetně 5 700 kg a vrtulníky do a včetně 3 175 kg. Nová legislativa neukládá povinnost instalovat zapisovač hlasu a kamery pilotního prostoru. Pokud je instalována kamera, musí být umožněno vymazat záznam po ukončení letu, při kterém se nezaznamenal žádný incident.

Pro mnoho provozovatelů může představovat výhodu zavést monitoring letových údajů (FDM), více o možných výhodách v kapitole 6.1. Chystaná legislativa EASA nepočítá s povinnou zástavbou do již provozovaných letadel, ale jen do nově vyrobených. Navíc se toto nařízení týká jen komerčních letů. Proto je pravděpodobné, že výrobci letadel tuto povinnost zapracují do nových typových návrhů při získávání typového osvědčení (TC) 21.A.41 [27] a nebo aplikují změnu dle Part 21 hlava D[27].

Myšlenka instalace lehkého letového zapisovače mi přišla zajímavá, proto jsem se rozhodl toto téma zpracovat v bakalářské práci. Především mě zajímalo, jak lze podle současných předpisů a norem zastavět jako dobrovolné vybavení lehký letový zapisovač do letadla kategorie CS-23. Proto se v této bakalářské práci zaměřuji na popis certifikačního procesu zástavby lehkého zapisovače letových údajů. Cílem je nastínit cestu kterou je možné tuto zástavbu certifikovat, navrhnout certifikační program, popsat dokumenty, které by v takovém případě měly provázet certifikační proces.

Bakalářská práce se zaměří na aspekty dobrovolné zástavby lehkého letového zapisovače do staršího typu letounu. Například Cessna C-172, Zlin Z-142, Tecnam, Pilatus, Piper. Předpis letové způsobilost CS-23 nebo starší.

Účelem této bakalářské práce není zabývat se dodatečnými náklady, přehled odhadovaných nákladů pro dotčené skupiny po jednotlivých položkách lze najít v [4] a tabulkách 10A, 10B, 11 NPA2017-3 [2].

V této bakalářské práci uvažuji pouze zapisovače pevně zastavěné v letadle. Domnívám se, že zapisovače, které se v případě nehody samy oddělí od draku letadla lze použít pouze při návrhu nového letadla a nebo v případě rozsáhlé změny.

1 Klasifikace změny

Předpis Part 21 hlava D stanovuje postupy schválení změn typového osvědčení a stanovuje práva a povinnosti žadatelů o změnu a držitelů schválených změn. Záleží zda je žadatelem oprávněná projekční organizace (DOA) a je tato organizace držitelem typového osvědčení výrobku, který chce měnit, anebo zda je to jakákoliv právnická či fyzická osoba. V hlavě D jsou také stanoveny standardní změny 21.A.90B, které nepodléhají schválení podle Part 21 [27]. Žadatel o významnou změnu, který není držitelem typového osvědčení postupuje dle Part 21 hlava E. Účelem klasifikace změny na významnou nebo nevýznamnou je stanovit postup schválení změny. Změnu klasifikuje oprávněná projekční organizace podle postupu odsouhlaseným agenturou nebo agentura. Klasifikace také ovlivňuje míru zapojení agentury EASA.

1.1 Standardní změny

Standardní změny (SC) představují výrazné zlepšení pro provozovatele. Přesto, že jsou tyto změny definované v nařízení komise EU 748/2012 Part 21 [27], opravňují organizace údržby k omezenému schvalování změn přesně definovaných v certifikačních specifikacích CS-STAN [15].

Bod předpisu 21.A.90B Stanovuje standardní změny, které nepodléhají schválení dle Part 21 část D. Standardní změny se dají aplikovat na letouny do a včetně maximální vzletové hmotnosti 5 700 kg a vrtulníky do a včetně maximální vzletové hmotnosti 3 175 kg. Navíc se musí řídit dle certifikačních specifikací vydaných agenturou. Certifikační specifikace pro standardní změny a standardní opravy jsou uvedeny v CS-STAN [15]. Standardní změny nepodléhají klasifikaci změn typového osvědčení dle 21.A.91 a nepodléhají povinnostem stanoveným v 21.A.109. Standardní změna použitelná pro instalaci zapisovacího zařízení je CS-SC104a. Tato změna je však příliš omezující a lze ji použít pouze pro instalace jednoduchých GPS logerů a zapisovačů zvuku v kabině. Použitelnost a omezení týkající se zástavby zapisovacího zařízení dle této standardní změny dle [15].

- Použitelnost: Letouny, které nejsou složitá motorová letadla. Vrtulníky, které nejsou složitá motorová letadla a jakákoliv letadla ELA2.
- Omezení:
 - Jakákoliv omezení stanovená výrobcem zařízení.
 - Maximální hmotnost zapisovacího zařízení nepřesáhne 300 g
 - Zástavba zařízení nesmí být použita pro rozšíření provozních schopností daného letadla nebo vyhovění požadavku na zástavbu letového zapisovače.

Použitelné metody v CS-SC104a také stanovují, že zařízení je závislé pouze na vlastních senzorech a není nijak spojeno se stávajícími přístroji nebo senzory v letadle.

Definice: Složitá motorová letadla dle [26]:

- letouny
 - maximální certifikovaná vzletová hmotnost přesahující 5 700 kg, nebo
 - schváleno pro MOPSC¹ více než 19 osob, nebo
 - schváleno pro provoz s minimální posádkou dvou pilotů, nebo
 - poháněno proudovým motorem, nebo více než dvěma turbovrtulovými motory

- vrtulníky
 - maximální certifikovaná vzletová hmotnost přesahující 3 175 kg, nebo
 - schváleno pro MOPSC více než 9 osob, nebo
 - schváleno pro provoz s minimální posádkou dvou pilotů, nebo

Definice ELA1 a ELA2 dle [26]:

- ELA1 letadlo
 - letoun o maximální vzletové hmotnosti do 1 200 kg nebo nižší a není klasifikován jako složitě motorové letadlo.
 - kluzák nebo motorový kluzák o maximální vzletové hmotnosti 1 200 kg a nižší

- ELA2 letadlo
 - letoun o maximální vzletové hmotností do 2 000 kg nebo nižší a není není klasifikován jako složitě motorové letadlo,
 - kluzák nebo motorový kluzák s MTOM rovnou 2 000 kg nebo nižší,

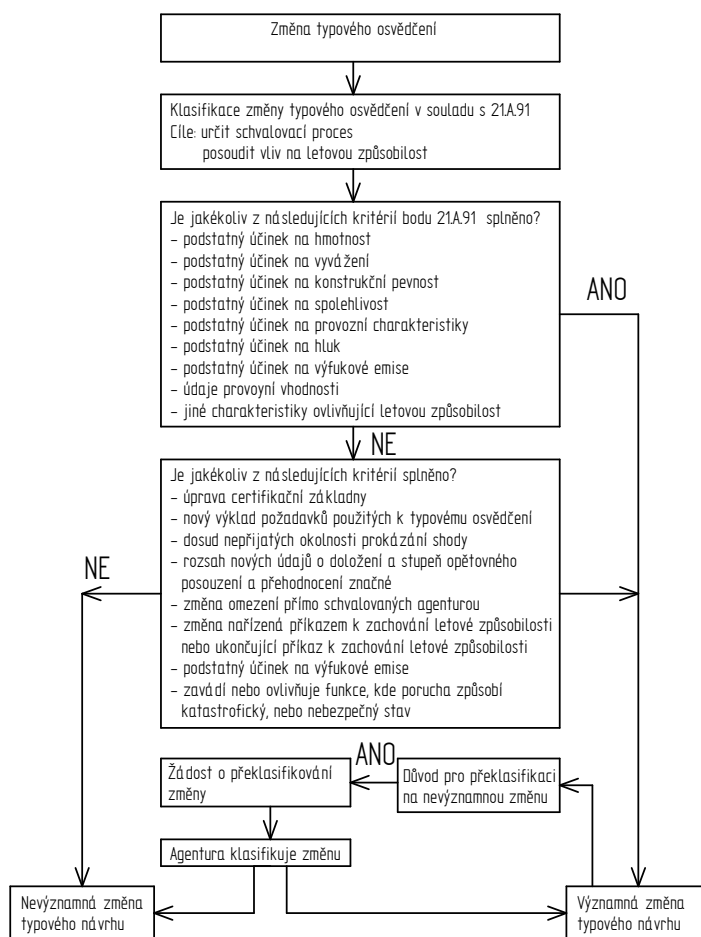
Standardní změna pro zástavbu zapisovače je tak použitelná pouze pro letouny do maximální vzletové hmotnosti 2 000 kg, a vlastní zařízení nepřesahující hmotnost 300 g. Touto variantou schválení se velmi pravděpodobně vydá většina provozovatelů letadel, jelikož představuje minimální náklady na certifikaci. Při instalaci nicméně musí být splněny podmínky stanovené v CS-STAN, jako například vypracování doplňků do letové příručky a instrukcí pro zachování letové způsobilosti. Tato varianta zatím nepokrývá lehké zapisovače se zodolněným uložištěm podle ED-155. Proto takové zařízení musí být v letadle zastavěno podle jiného postupu, který spadá pod Part 21.

¹Maximální provozní konfigurace sedadel pro cestující (Maximum Operational Passenger Seating Configuration, MOPSC)

1.2 Nevýznamné změny

Podle Nařízení Komise (EU) č. 748/2012 jsou nevýznamné změny typového osvědčení ty, které nemají zásadní dopad na hmotnost, vyvážení, strukturální pevnost, spolehlivost, provozní charakteristiky, hluk, vypouštění paliva, emise zplodin, údaje provozní vhodnosti nebo jiné vlastnosti ovlivňující zachování letové způsobilosti. Jakékoliv jiné změny jsou změny významné.

Schválení nevýznamné změny může žádat jakákoli právnická či fyzická osoba například prostřednictvím portálu `ap.easa.europa.eu`. V případě zapojení DOA odpovídá za klasifikaci změny typového návrhu vedoucí oddělení letové způsobilosti. Pokud žadatel o změnu není držitelem oprávnění ke konstruování, nebo je rozsah změny mimo oprávnění DOA, je za klasifikaci změny odpovědná agentura viz obrázek 1.1



Obrázek 1.1: Proces klasifikace změny typového osvědčení. Vlastní zpracování dle [27]

1.3 Významné změny

Významné změny se dále dělí na zásadní, nezásadní a značné, které vedou na kompletně nový typový certifikát. Příklad zásadních a nezásadních změn je uveden v poradním materiálu GM 21.A.101 [27]. Tento poradní materiál uvádí konkrétní příklady. Tyto příklady byly prokonzultovány a přijaty bezpečnostními agenturami pro civilní letectví FAA, ANAC, EASA, TCCA Významné změny, které chce provádět někdo jiný než je držitel typového osvědčení k danému výrobku (letadlu, motoru nebo vrtuli) je povinen žádat dle Part 21 hlava E.

1.4 Klasifikace změny pro instalaci LARS

Shrnutí odpovědností za klasifikaci a schválení změny je v tabulce 1.1. Pro tuto bakalářskou práci budu uvažovat změnu nevýznamnou schvalovanou DOA. Odůvodnění klasifikace je v odrážkách v kapitole 1.4.1.

Tabulka 1.1: Přehled postupu klasifikace a schválení změny

	Klasifikace	Postup schválení dle:	Schválení změny	Výstupní certifikát
Standard changes	Nepodléhá klasifikaci	Part 21 hlava D	Part 145, Part	FORM 123
Minor change DOA applicant	DOA ¹	Part 21 hlava D	DOA	MCA ²
Minor change non DOA applicant	EASA	Part 21 hlava D	EASA	MCA ²
Major change TC holder	DOA	Part 21 hlava D	EASA	STC ³
Major Change non TC holder	DOA	Part 21 hlava E	EASA	STC ³

¹ Dle postupu schváleného agenturou

² Schválení nevýznamné změny (Minor Change Approval, MCA)

³ Doplňkové typové osvědčení (Supplementary Type Certificate, STC)

1.4.1 Oprávněná organizace pro projektování

Organizace oprávněná k projektování musí splnit náležitosti uvedené v nařízení komise EU 748/2012 [27] Part 21 hlavě J. Součástí schválení je i rozsah oprávnění, na které kategorie letadel se oprávnění vztahuje, práva a omezení. Organizace musí mít agenturou schválenou příručku a postupy. Musí mít dostatečný počet kvalifikovaného personálu pro vykonávání přiznaných oprávnění. Dále zaveden vnitřní systém kvality. A pravidelně podstupuje audit agentury. Vzor příručky organizace oprávněné k projektování je k nahlédnutí na webových stránkách EASA. DOA má oprávnění klasifikovat změny na základě 21.A.263 (c)1, oprávnění schválení nevýznamných změn vyplývá z 21.A.263 (c)2. Každá klasifikace by měla být zaznamenána a rozhodnutí dohledatelné. Takto klasifikované a schválené změny agentura přijímá bez jakéhokoliv průkazu.

Posouzení zda má instalace lehkého letového zapisovače do letadla zásadní vliv na:

- **Hmotnost:** Hmotnost lehkých zapisovačů se pohybuje v rozsahu od 1,1 kg do 3,5 kg. Při úvaze výběru nejtěžšího zařízení 3,5 kg a hmotnosti letadla 1000 kg dojde ke změně hmotnosti o 0,35 %. Taková změna nepředstavuje zásadní vliv na hmotnost, nicméně není to nezanedbatelná hmotnost ² A proto by měl být vypracován záznam o změně hmotnosti. Při doplnění zařízení do seznamu zařízení konkrétního letadla by se měla uvést i hmotnost a rameno od referenční roviny ke stanovení statického momentu a výpočtu těžiště.
- **Vyvážení:** Vzhledem k nízké hmotnosti instalovaného zařízení lze zanedbat vliv na vyvážení. Změna polohy těžiště bude ověřena výpočtem a změna zapísána do pilotní příručky. Rameno a hmotnost zařízení spolu s podélným statickým momentem by měly být dostupné v doplňku do pilotní příručky.
- **Strukturální pevnost:** Instalace zařízení musí být provedena tak, aby nenarušila primární konstrukci. Předpokládá se instalace zařízení na vhodné místo kde se v letadle běžně instalují ostatní bloky avioniky.
- **Spolehlivost:** Instalace nemá vliv na spolehlivost.
- **Provozní charakteristiky:** Instalace nemá vliv na provozní charakteristiky.
- **Hluk:** Instalace nemá vliv na hluk.
- **Vypouštění paliva:** Instalace nemá vliv na vypouštění paliva.
- **Emise zplodin:** Instalace nemá vliv na emise zplodin.
- **Údaje provozní vhodnosti:** Instalace nemá vliv na údaje provozní vhodnosti. lehký letový zapisovač není instalován jako povinné vybavení.

²Nezanedbatelná hmotnost je dle: AC43.13-1B [3] změna hmotnosti o jednu libru u letounu jehož prázdná hmotnost je méně než 5000 liber.

2 Požadavky na LARS

Povinnost instalace zapisovačů vychází z provozních předpisů. Pro Evropu platí předpis AIR OPS 965/2012 [26]. V současnosti tak platí povinná výbava zapisovači hlasu v pilotní kabině (CVR) a zapisovači letových údajů (FDR) pro letadla s MCTOM větší než 5 700 kg a pro některá letadla s MCTOM menší než 5 700 kg. Tyto zapisovače musí odpovídat MOPS (standardům minimální provozní výkonnosti) danými předpisem ED-112. Mimo to je také povinné pro letadla s MCTOM větší než 27 000 kg zavést FDM, který je nově povinný i pro vrtulníky s MCTOM větší než 3 175 kg. [26]. Sdružení Corporate Aviation Safety Executive (CASE) podporuje rozšíření FDM i pro segment létání "Business aviation".

Aby byl návrh instalace dostatečně nadčasový, navrhuji rozšířit funkci lehkého letového zapisovače o zapisovač pro rychlý přístup (QAR), který umožní denní stahování letových záznamů a zavedení FDM. Tento návrh by měl být dostatečně jednoduchý a neměl by zahrnovat instalaci nové jednotky pro sběr a distribuci dat (FDAU) a zahrnout funkci QAR do původního zařízení. Další požadavek na lehký zapisovač letových údajů je zápis na odolněnou paměť pro využití při šetření nehody. Konkrétní požadavky na odolnost paměťového modulu jsou v předpisu ED-155 kapitola 2-4. Systém s těmito vlastnostmi pojmenuji Lightweight Aircraft Recording System, LARS je tedy možné jej definovat jako digitální zapisovač letových údajů, který zapisuje údaje na odolněnou paměť pro využití při šetření nehod a zároveň jsou data jednoduše přístupná pro stažení po každém letovém dni pro účely FDM.

Z pohledu předpisu ED-155 se lehký letový zapisovač skládá buď z jedné nebo více těchto komponent. Zapisovač letových dat (ADRS), zapisovač zvuku v kabině (CARS), zapisovač obrazového záznamu (AIRS) a zapisovač datové komunikace (DLRS).

Studie CAP 762 [20] porovnávala efektivitu systémů obrazového záznamu oproti klasickým letovým zapisovačům. Výhody plynoucí z analýzy obrazového záznamu popsané ve studii jsou například:

- Záznam obrazu displejů:
Z obrazového záznamu palubní desky je možné získat důkaz selhání letových displejů. Při použití kamery s dostatečným rozlišením lze z displejů odečítat data a chybové hlášení, což umožňuje vyloučit chyby pilotů jako přispívající faktor. [20] Toto může být přínosné zejména u menších letadel vybavených obrazovkovými displeji tzv Glass Cockpitem. Zatímco u velkých dopravních letadel jsou zaznamenávány desítky až stovky diskrétních stavových signálů a jedním z nich může být "PFDF fail", u menších letadel se tyto diskrétní signály pravděpodobně nebudou zaznamenávat.
- Akce posádky:
Náhrávka může objasnit chování posádky, protože ne vždy piloti mluví o

tom co se děje. Dokonce i u vícečlenné posádky, zvláště pokud jsou piloti pod tlakem, tak jednají rychle a bezeslov, někdy pro komunikaci stačí gesta. V takových případech přináší obrazový záznam novou informaci o jednání posádky, o jejich činnosti a případných neúspěšných pokusech o vyřešení situace. Toto může objasnit situace, kdy se posádka snaží vyřešit situaci, ale její úkony se nijak neprojeví na změně stavu.

- Schopnost vidět příčiny stresu posádky:
Ze zvukového záznamu lze posoudit, zda byla posádka ve stresu, ale obrazový záznam lépe odhalí příčiny, proč tomu tak bylo. Zda se jednalo o problémy v komunikaci, přílišnou zátěž posádky, selhání více systémů atd.
- Možnost zaznamenat velké množství údajů z palubní desky bez dodatečných nákladů: Pokud je kamera vhodně umístěna a snímá obraz s dostatečnou kvalitou, lze získat k analýze velké množství údajů bez potřeby velkého zásahu do současných systémů v letadle, hlavně pak kabeláže. Určitou nevýhodou je samotná postata obrazového záznamu. Při šetření je nutné zaznamenat důležité stavy veličin a vlastně tak přepsat všechna data do hodnot v časové ose.

Vyhovět požadavkům lze poměrně jednoduše pomocí instalace kamery AIRS do kokpitu. V takovém případě by se prokazovala čitelnost dostatečného počtu parametrů dostupných z ukazatelů na palubní desce pilota. Samozřejmě by muselo platit, že záznam se ukládá na zodolněné uložení vyhovující parametrům v ED-155.

I přes výše zmíněné výhody panuje obava z narušení soukromí posádek. Hrozba zneužití pořízených záznamů se už dříve prokázala u CVR. Povaha obrazového záznamu z kabiny letadla je vnímána mnohem citlivěji než je tomu u zvukové nahrávky. Proto se v této bakalářské práci dále nebudu zabývat problematikou instalace kamery AIRS v kabině.

Základním předpokladem úspěchu instalace a integrace lehkého zapisovače do letadla bude modulární architektura zapisovače a snadné přizpůsobení propojení do stávajících systémů. Způsob integrace a množství zaznamenaných parametrů bude záviset na přístrojovém vybavení letadla. Základní přehled přístrojové vybavenosti je uveden v tabulce 2.1.

Tabulka 2.1: Vybavenost letadla senzory [4]

Vybavenost letadla	motorové senzory	avionické senzory
I.	analogové, žádné výstupy	pneumatické, mechanické a analogové, žádné výstupy
IIa.	analogové, žádné výstupy	digitální rozhraní
IIb.	digitální rozhraní	pneumatické, mechanické a analogové, žádné výstupy
III.	digitalní rozhraní	digitální rozhraní

2.1 Kvalifikace zařízení

Obecně veškeré přístroje a vybavení nezbytné pro bezpečné provedení letu, jejichž zástavba je povinná na základě požadavků předpisů na letovou způsobilost CS-23 nebo na základě provozních předpisů Air OPS musí být schváleno. Postup certifikace samotného zařízení se liší na základě jeho funkce a jak je poskytovaná funkce kritická pro bezpečné provedení letu. Na základě hodnocení důležitosti funkce se stanoví stupeň zabezpečení návrhu (Design Assurance level DAL). Jednou z cest jak schválit vybavení do letadel je postupovat podle certifikačních specifikací pro evropský technický normalizační příkaz (CS-ETSO). Tímto způsobem se postupuje, pokud našemu zařízení odpovídá nějaké konkrétní ETSO, jejichž seznam je dostupný v CS-ETSO hlava B. Hlava A popisuje obecné požadavky jako jsou např. požadavky na odolnost vůči vnějším vlivům, software, hardware a hodnocení selhání funkce zařízení. Schvalování výrobků ETSO se řídí Part 21 hlava O. K výrobě ETSO produktu musí firma být oprávněná organizace k výrobě (POA) dle Part 21 hlava G a výroba musí probíhat dle schválené dokumentace. Pokud firma není oprávněná dle POA, může postupovat podle Part 21 hlava F. K tomu, aby mohla firma konstruovat produkty ETSO musí být oprávněná konstrukční organizace (DOA) dle Part 21 hlava J. Na základě podrobných zkoušek na zařízení výrobce vydá Prohlášení o konstrukci a výkonnosti (declaration of design and performance, DDP). Agentura poté vydá ETSOA. Takto certifikované vybavení má na sobě příslušné označení ETSO a další povinné údaje stanovené předpisem Part 21 část Q. Výhoda této certifikace spočívá ve snadnější certifikaci samotné zástavby zařízení do různých typů letadel. Například díky již zmíněným CS-STAN nemusí být v takovém procesu ani DOA ani agentura zahrnuta.

Pokud vybavení není v seznamu ETSO nebo není záměr pro využití ve více typech letadel, lze vybavení schválit v rámci certifikace letadla. Podobný postup lze také zvolit při změně typového návrhu. Jde o schválení v rámci zástavby.

Nejjednodušší z hlediska instalace je vybrat takové zařízení, které plní ETSO a má vydané ETSOA. V tomto případě výrobce řádně označí svůj výrobek a toto je záruka plnění předepsaných zkoušek, daných konkrétním článkem ETSO.

2.1.1 Odolnost vůči vnějšmu prostředí DO-160

RTCA/DO-160 se jako norma pro odolnost vůči vnějšmu prostředí v letectví používá již od roku 1958. Definuje podmínky testů a třídí letecké přístroje do kategorií podle podmínek prostředí do kterého jsou určeny. Záleží na tom, zda bude zařízení instalované uvnitř trupu v přetlakové části se stálou teplotou, nebo v trupu v nepřetlakované části, kde se teplota výrazně mění. Nebo zda bude vystaveno vnějším vlivům vně letadla. Toto se musí zohlednit již při návrhu zařízení a následně ve stanovení testů, kterým bude zařízení podrobena [22]. Samozřejmě to není jediný předpis ohledně odolnosti vůči vnějšmu prostředí a záleží na výrobcu, který předpis si vybere.

Příklad dalších předpisů:

- Airbus ABD0100.1.2
- Boeing D6-16050
- MIL-STD-810

DO-160 je spolu s ED-14 uznáván agenturou jako norma pro kvalifikaci odolnosti vůči vnějšímu prostředí. Konkrétní článek ETSO si v odstavci 3.1.2 může určit dodatečné konkrétní podmínky pro konkrétní zařízení. Výstup ze zkoušek odolnosti vůči vnějšímu prostředí je dokument osvědčení vybavení odolnosti vůči okolním vlivům (Equipment Qualification Form, EQF), kde jsou základní identifikační údaje výrobku, výrobce a seznam kapitol předpisu dle kterých bylo zařízení testováno, která metoda byla zvolena a datum testu. Předpis DO-160 má 26 kapitol, ale výrobek nemusí podstupovat všechny testy. Testují se pouze relevantní určené parametry [21]. Standardní výchozí podmínky testů dle DO-160 [6]:

- okolní teplota (15 - 35) °C
- relativní vlhkost ne větší než 85 %
- okolní tlak (84 - 107) kPa

ED-155 nestanovuje konkrétní požadavky na testy vůči vnějším vlivům a každý výrobce by měl zvážit, pro kterou kategorii testů se rozhodne. Toto rozhodnutí je v zásadě ovlivněno tím, jak je LARS zamýšleno instalovat do letadla. Obecné doporučení pro havarijní zapisovače je umístění v zadní části letadla co nejvíce je možné a praktické z pohledu údržby [23], protože zkušenosti ukazují, že tato část je nejméně vystavena extrémním podmínkám při dopadu.

Pro zařízení zamýšlené pro instalace do vrtulníků by nad to měly být provedeny zkoušky na vibrace dle odstavce 8.8 v DO-160 [21]

2.1.2 Normalizační příkaz ETSO 2C197

Přesto, že toto ETSO se jmenuje sběr a monitoring letových údajů (Information Collection and Monitoring System, ICMS), odkazuje přímo na předpis ED 155, který v kapitole 2-4 definuje testy pro zvýšenou odolnost při nehodě. V současné době je vydáno pouze jedno oprávnění (ETSOA) [16] dle ETSO 2C197 (poslední dostupná aktualizace seznamu vydaných oprávnění byla 01.11.2019) a je jím LDR 1000 Lightweight Data Recorder od výrobce L-3 viz obrázek 2.1.



Obrázek 2.1: LDR 1000 Lightweight Data recorder [17]

2.1.3 Standard minimální provozní výkonnosti ED-155

Účelem ED-155 není nahradit starší předpis ED-112, ale reaguje na potřebu definovat lehký letový zapisovač s nižšími požadavky na odolnost paměti uchovat data při nehodě. Tyto nižší požadavky jsou opodstatněné tím, že jsou určeny pro lehčí kategorii letadel. Díky nižší hmotnosti těchto letadel a zpravidla nižšímu rozsahu provozních rychlostí není energie při nehodě a střetu s terénem tak velká jako u těžších letadel, také celkové množství paliva je výrazně nižší, takže případný požár po nehodě neproběhne s tak velkou intenzitou jako je tomu u podstatně těžších dopravních letadel.

Předpis ED-112 určuje MOPS pro plnohodnotné havarijní zapisovače. Na tento předpis se odkazují normalizační příkazy: ETSO-C123c, ETSO-C124c, ETSO-C155b, ETSO-C176a, ETSO-C177a. Porovnání parametrů odolnosti pro havarijní zapisovače a pro lehké zapisovače je v tabulce 2.2. Před sérií testů se do paměti zapíše předem definovaný datový vzor a po zkouškách se porovnává čitelnost a chybovost extrahovaných dat.

Tabulka 2.2: Požadavky na odolnost dle [8] a [7]

Požadavky na odolnost	ED-112	ED-155
Dynamická zkouška	3400 G, 6,5 ms	1000 G, 5ms
Zkouška vnikací	500 lb., 10 ft. 1/4 in. indenter	neuplatňuje se
Statický tlak	5000 lb., 5min ve všech osách	1000 lb, 5 min ve všech osách
Nízké teploty	260 °C, 10 hod.	neuplatňuje se
Vysoké teploty	1100 °C, 1 hod.	1100 °C, 15 min
Vodotěstnost v mořské vodě	30 dní	neuplatňuje se

2.2 Lehké zapisovače letových dat

Základními požadavky na funkci LARS jsou následující.

1. Zápis dat na zodolněnou paměť splňující parametry dle ED-155.
2. Záznam dat na zapisovač pro rychlý přístup pro účely FDM.
3. Odpovídající EQF a DDP.
4. Minimální nároky na napájení.
5. Nízká hmotnost.
6. Možnost instalace jako nezávislý zapisovač letových údajů (iFDR).

Těchto pět kritérií budu hodnotit u vzorku tří dostupných zapisovačů. Hlavním kritériem je odolnost při nehodě a zápis nezbytných parametrů pro rekonstrukci letu před nehodou pro účely šetření leteckých nehod. Tyto parametry a zdroj dat pro různé vybavení letadel jsou uvedeny v tabulce 2.3, kde uvádím i další volitelné parametry, které mohou být použity v programu FDM. Je nanejvýš výhodné zaznamenávat pokud možno co nejvíce dostupných parametrů, které mohou sloužit ve prospěch monitorování provozních dat a hodnocení celkové bezpečnosti [9].

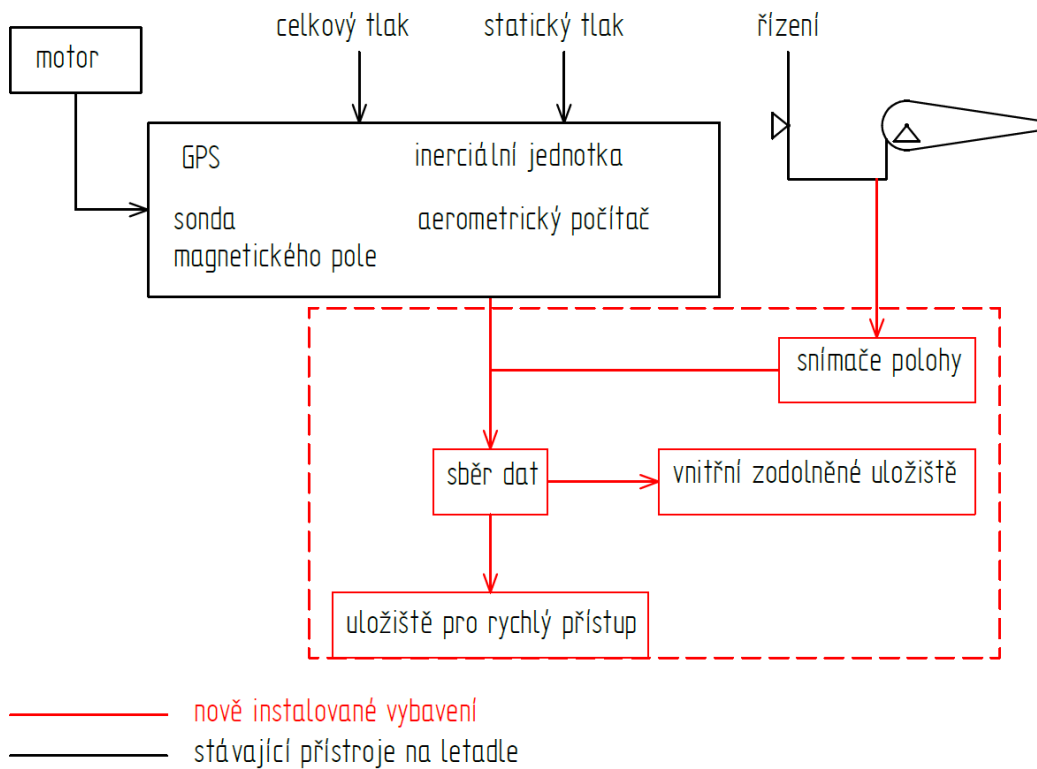
Z důvodu různých úrovní vybavenosti letadel je výhodné řešit architekturu lehkého letového zapisovacího zařízení (LARS) jako modulovou. To se také skutečně děje, jak je vidět v přehledu dostupných zapisovačů. V případě dostatečné vybavenosti přístroji s digitálním rozhraním se zapisovač připojí ke zdrojům dat z přístrojového vybavení letadla viz obrázek 2.2. Vlastní vnitřní senzory zapisovače se v tom případě nemusí využít, ale zpravidla se tento vnitřní modul také zapojí a je možné porovnávat data získaná z externích zdrojů oproti údajům vnitřních senzorů.

Tabulka 2.3: Tabulka parametrů dle [7]

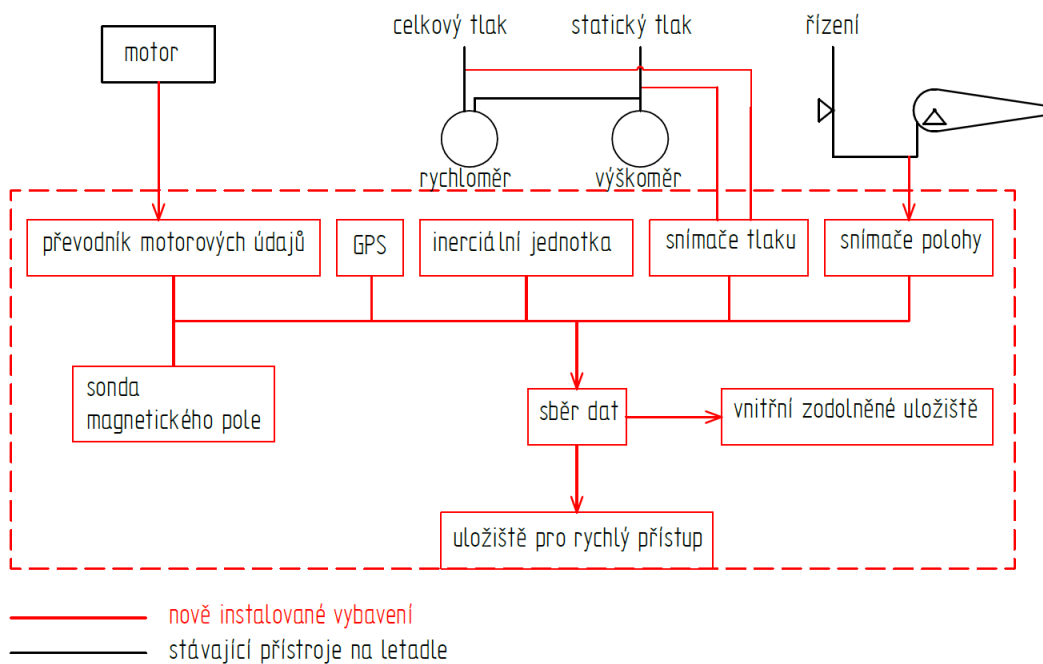
Parametr	Zdroj parametru	
	Typ I.	Typ III.
čas od zapnutí	LARS	LARS
úhel klopení	IMU LARS	IMU "glass cockpit"
úhel klonění	IMU LARS	IMU "glass cockpit"
úhlová rychlost zatáčení	IMU LARS	IMU "glass cockpit"
úhlová rychlost klopení	IMU LARS	IMU "glass cockpit"
úhlová rychlost klonění	IMU LARS	IMU "glass cockpit"
GPS: poloha	GPS LARS	GPS "glass cockpit"
GPS: odhadovaná chyba	GPS LARS	GPS "glass cockpit"
GPS: výška	GPS LARS	GPS "glass cockpit"
GPS: čas	GPS LARS	GPS "glass cockpit"
GPS: rychlost vůči zemi	GPS LARS	GPS "glass cockpit"
GPS: kurz	GPS LARS	GPS "glass cockpit"
normálové zrychlení	IMU LARS	IMU "glass cockpit"
podélné zrychlení	IMU LARS	IMU "glass cockpit"
příčné zrychlení	IMU LARS	IMU "glass cockpit"
Volitelné parametry		
Poloha klapek	snímač polohy	
Poloha řídicích ploch	3x snímač polohy	
Motorové veličiny	analogové/digitální rozhraní	

V případě méně vybaveného letadla z tabulky 2.1 se musí zapisovač spoléhat pouze na vnitřní senzory, viz obrázek 2.3.

Myslím si, že uvažovat retrofit pro více vybevená letadla je opodstatněný. Například studie zabývající se posouzením, zda letadla vybavená "glass cockpitem" jsou bezpečnější [10] uvádí, že v roce 2006 bylo 90% dodaných lehkých letadel v USA poháněných pístovým motorem bylo vybaveno "glass cockpitem" v původním zdroji se mi nepodařilo data ověřit a dohledat. Ale data nasvědčují, že počty dodaných letadel se od roku 2008 stále zvyšují [11]. A tak je oprávněný předpoklad, že takto vybavených letadel bude velké množství. Schématické rozhraní pro tento případ představuje obrázek 2.2.



Obrázek 2.2: Vybavenost letadla III. Vlastní zpracování dle [4]



Obrázek 2.3: Vybavenost letadla I. Vlastní zpracování dle [4]

2.2.1 Základní přehled dostupných zařízení

LDR 1000

Tento zapisovač jako jediný má vydané ETSOA. To je výhoda, protože není nutné ověřovat data od výrobce ohledně zkoušek odolnosti prostředí a výkonnosti. A Tím pádem se nemusí schvalovat zařízení v rámci projektu. To znamená, že EQF ani DDP není potřeba. Výrobce na webových stránkách [17] uvádí plné plnění odolnosti zapisovače dle ED-155. To je dáno vydáním schválení EASA.IM.21O.10046139 a uvedeno je to nejspíš pouze z marketingových důvodů. Na obrázku 2.1 jsou vidět dva koaxiální konektory, jeden pro GPS anténu a druhý pro analogové video. Dále ethernetový port pro stažení dat do přenosného počítače a D-Sub konektor pro připojení napájení a ostatních letadlových systémů.

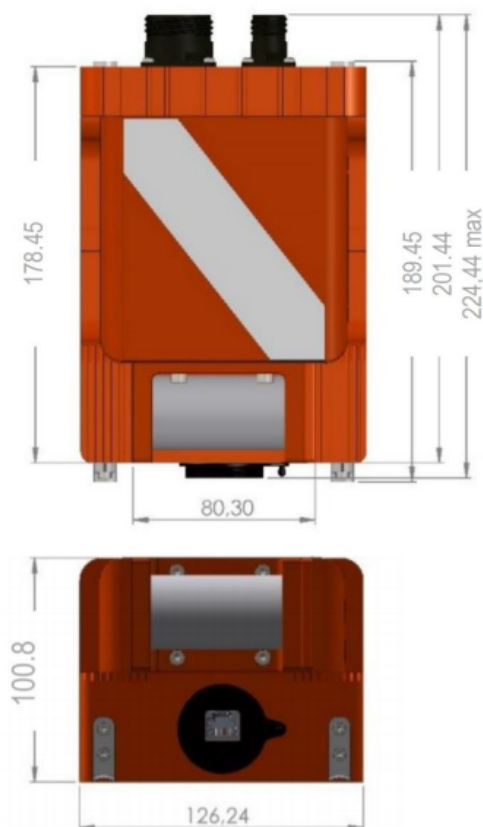
Výrobce L-3 technologies shrnutí požadavků dle kapitoly 2.2

1. Plné pokrytí požadavků předpisu ED-155 na odolnost.
2. Připojením přenosného počítače ethernetovým portem.
3. DDP: 905-E5855-42, ETSOA: EASA.IM.21O.10046139
4. $< 5\text{ W}$
5. 2,27 kg
6. Pouze interní GPS modul. Nemá samostatné vstupy pro pitot statický systém, nemá IMU.

Tento zapisovač tak plní hlavní kritérium, výhodou je plná certifikace ETSO, nevýhodou představuje chybějící IMU a snímače tlaku. Tento zapisovač připadá v úvahu spíše pro více vybavená letadla.

ETEP sentinel

Zapisovač plní odolnost v plném rozsahu ED-155, údaj se ale nepodařilo ověřit v dokumentu DDP, vycházím proto opět z webových stránek výrobce [18]. Na obrázku 2.4 je vidět ethernetový port a další konektory pro připojení napájení a ostatních letadlových systémů, toto je stejné řešení jako zvolil předchozí výrobce. Zde je navíc deklarována možnost instalace vyjmutelné paměťové karty pro účely FDM. Takové řešení by mohlo přinést výhodu v provozu. Protože je snadnější manipulovat pouze s paměťovou kartou.



Obrázek 2.4: Sentinel ED-155 [18]

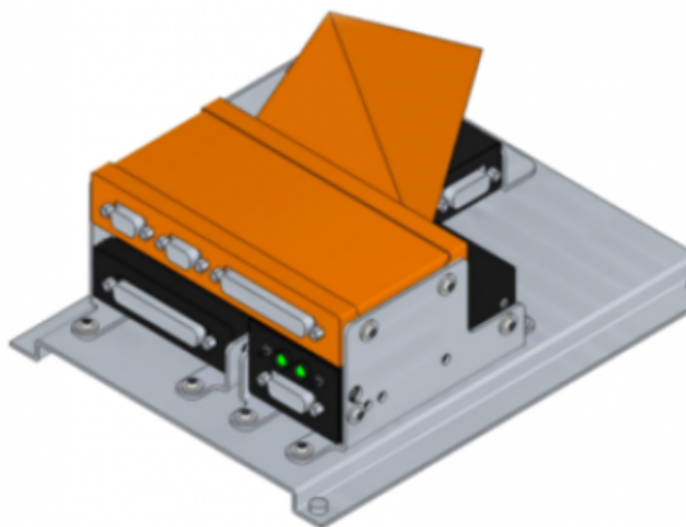
Výrobce ETEP shrnutí požadavků dle kapitoly 2.2

1. Plnění odolnosti dle ED-155 v plném rozsahu.
2. Připojením přenosného počítače ethernetovým portem.
3. Deklarováno plnění MIL-STD-704F / DO-160.
4. 12 – 25 W
5. 3,5 Kg
6. Připojení na pitot-statický systém, vnitřní IMU. Zabudovaný mikrofon.

Výhoda je vysoká variabilita konfigurace. Možnost instalace paměťové karty jako QAR. V podstatě úplná nezávislost zapisovače na rozhraní přístrojů v letadle. Zařízení nemá ETSO a muselo by se schválit v rámci projektu. Získání příslušných dokumentů EQF a DDP je v tomto případě nezbytné.

Apibox

Opět vycházím především z webových stránek výrobce [19]. Tento zapisovač je nejvíce modulární a celou sestavu lze přizpůsobit konkrétnímu typu letadla a dostupným zdrojům dat. Velkou výhodou je online reporting. Navíc je programové vybavení určené pro poletové rozbory.



Obrázek 2.5: Apibox system modulární architektura [19]

Výrobce iAero – i2A SAS shrnutí požadavků dle kapitoly 2.2

- 1.
2. QAR. Paměťová karta umístěná na snadno dostupném místě. Navíc indikace stavu.
3. DO-160D section 7 Category E DO-160D section 8 Category E
4. 10 W
5. 2,2 kg
6. Vlastní napojení na pitot-statický systém, IMU, GPS vstup. Navíc online odesílání dat přes GSM nebo iridium.

Díky jednotce pro získávání dat (Data Retrieval Unit, DRU) neboli QAR je manipulace s daty po každém letovém dni snadná, navíc je zde indikace stavu zapisovače pro předletovou kontrolu. Technici tak ví, že zapisovač provedl vnitřní test (BIST) a je provozuschopný. V případě umístění paměťového modulu do pilotní kabiny je výhodou indikace správné funkce zapisovače (BIST). Žádný ze srovnávaných zapisovačů tuto funkci nemá.

Budoucnost vývoje zapisovačů je v zapisovačích, které přenáší data online ať už přes GSM síť nebo třeba iridium do datového centra a odtud jsou využity pro další zpracování. Tyto technologie již využívají výrobci motorů na dopravních letadlech. Dalším trendem může být odpojitelný havarijný zapisovač, který se v průběhu nehody oddělí a vzdálí od draku letadla a nemusí tak dopadnout na místo dopadu letadla. K oddělení může být použito aerodynamických sil nebo asistence pyropatron. Požadavkem na tyto zapisovače také bývá, aby samostatně plavaly na hladině.

3 Stanovení předpisové základny

Od vydání původního předpisu PART 23 v roce 1965 se technologie a možnosti výroby letadel výrazně posunuly a je možné podle těchto předpisů certifikovat poměrně velký rozsah různých letadel co se týká výkonnosti a složitosti. Je neproporcionálně náročné a nákladné postupovat stejným procesem při certifikaci dvousedadlového letadla pro rekreační využití s pístovým motorem jako pro složitější letadla, která se budou využívat pro komerční provoz. Na tento problém upozornila již studie FAA Certification Process Study vydaná v roce 2009 [30] ve studii, kde je nastíněno doporučení pro vývoj ohledně certifikace pro dalších 20 let. Předpisy vývoj a pokrok technologií dohání vždy se zpožděním přidáváním dodatků. Aktuálním dodatkem k předpisu (FAA) Federal Aviation Authority 14 CFR Part 23 je dodatek 64. U evropského předpisu CS-23 je to dodatek 5. Tyto poslední dodatky se snaží vypořádat se složitostí a rozsahem certifikovaných letadel v této kategorii tím, že zavádí podkategorie podle výkonnosti a počtu cestujících. Nové dodatky už nejsou tak popisné a obsáhlé jako tomu bylo v minulosti. Místo toho stručně definují požadavky a jako přijatelné způsoby průkazu (AMC) Applicable means of compliance jsou uvedeny normy ASTM. V dokumentu "Easy Access Rules for Normal-Category Aeroplanes (CS-23)" je pro lepší srozumitelnost v části AMC i odkaz na související body předpisu staršího dodatku CS-23 Amdt 4. Uvedením nového dodatku předpisu CS-23 Amdt 5 se analogie mezi CS-25 a CS-23 ztrácí. Nový dodatek uvádí pouze jeden bod ohledně zapisovačů obecně a to CS 23.2555 Installation of recorders (e.g. cockpit voice recorders and flight data recorders). EASA chce novým přístupem zjednodušit certifikaci letadel v této kategorii. Při tvorbě nového přístupu k certifikaci "malých letadel" byla zohledněna právě studie od FAA. současně s tím FAA také přijala novou filozofii certifikace letadel pod FAR 23 a došlo tím k větší harmonizaci předpisů CS-23 a FAR 23.

3.1 Program certifikace

V AMC21.A.20(b) je uvedeno, že žadatel o změnu musí zpracovat program certifikace, který obsahuje: [27]

- Popis projektu
- Navrhované certifikační specifikace - předpisová základna
- Jak bude vyhovění prokázáno
- Seznam plnění bodů předpisové základny
- Určení příslušného personálu

21A.17A Agentura stanoví použitelné certifikační specifikace. Pokud je žadatel DOA a z klasifikace změny vyjde projekt jako nevýznamná změna, tak žadatel DOA sám podle interních postupů schválených agenturou navrhne použitelné certifikační specifikace. Tj. stanoví předpisovou základnu. Při tomto procesu musí vzít v úvahu současný stav. Letadla to znamená všechny provedené změny.

3.1.1 Popis projektu

Popis projektu zahrnuje definici rozhraní mezi stávajícími přístroji v letadle. Může obsahovat například vysvětlující blokové schéma nebo obrázky. Důvod modifikace je pouze volitelný. Dále obsahuje identifikaci a umístění nových přístrojů, případně umístění přístrojů, které budou demontovány. Součástí je i tabulka s instalovaným materiálem. V této fázi by měl být také identifikován typ provozu.

3.1.2 Předpisová základna

Předpisová základna pro nevýznamné změny by měla vycházet z předpisové základny původního výrobku (letadla) dle příslušného TCDS [5]. Žadatel může zvolit pozdější dodatek předpisové základny. V tom případě by měl uvést důvod, proč tak zvolil.

3.1.3 Kontrolní seznam průkazů (CCL)

Zde by měly být uvedeny odkazy na jednotlivé dokumenty, které budou prokazovat shodu s paragrafy předpisu. Tento dokument slouží k záznamu postupu certifikace. Uvádí postupné splnění všech prokazovaných bodů předpisu. Jako vzor, může sloužit tabulka z dokumentu CS-VLA compliance checklist [12].

[?]

3.1.4 Určení příslušného personálu

Předpis ohledně personálu definuje jen 3 pozice viz GM No 1 to 21.A.243(d)[27]. Referent letové způsobilosti, inženýr pro ověření shody (Compliance Verification Engineer , CVE), Vedoucí konstrukční kanceláře Několik funkcí může zastávat jedna osoba.

Výtah bodů provozních předpisů pro obchodní lety z nařízení 965/2012.

- CAT.IDE.A.185 Cockpit voice recorder
- CAT.IDE.A.190 Flight data recorder

Pokud provozované letadlo spadá do kategorie letové způsobilosti² CS-23 musí zároveň plnit příslušné nařízení ohledně zapisovačů.

V předpisech pro letovou způsobilost CS-23 Amdt 4 upravují instalaci zapisovačů tyto body předpisu:

- CS 23.1457 Cockpit Voice Recorders
- CS 23.1459 Flight data recorders

Analogicky pro CS-25 Amdt 23 jsou to body předpisu:

- CS 25.1457
- CS 25.1459

Konkrétní předpisovou základnu pro konkrétní letadlo zjistíme z přílohy typového certifikátu (TCDS). Jako certifikační základnu, které se budu pro účely této práce držet, jsem si zvolil CS-23 dodatek 4, protože je to poslední dodatek před již zmiňovaným novým přístupem k certifikaci v dodatku 5. Pro úplnost uvádím i příslušné ekvivalentní paragrafy z dodatku 5 viz tabulku 3.1. Kódy způsobu průkazu jak jsou uvedeny v AMC 21.A.20(b), uvádím je v tabulce 3.2.

Tato předpisová základna jde aplikovat na velké spektrum letounů, protože uvažují zástavbu do staršího letadla, které bylo certifikováno podle dřívějších předpisů.

Letadlo po provedení instalace musí dále vyhovovat relevantním paragrafům z předpisu letové způsobilosti podle kterého bylo certifikováno. V některých případech i dodatečným novým předpisům použitelným pro danou zástavbu. [13]

Stanovení předpisové základny

Ani v jednom případě neplatí bod 23.1457 ani 23.1459 CVR a FDR ani v CS-23 amdt 5 23.2555 Tyto paragrafy předpisu CS-23 nejsou dotčeny proto nejsou zahrnuty v tabulce 3.1, jelikož to nevyžadují provozní předpisy (neplníme požadavek provozních předpisů)

²Předpis letové způsobilosti nezavádí povinnost instalace zapisovačů, ale pokud to provozní předpisy vyžadují, musejí být zastavěny v souladu s těmito předpisy.

Tabulka 3.1: Předpisová základna a návrh průkazu

Bod předpisu:	MC	Dokument
Amdt 4		
23.301	0	Prohlášení o shodě
23.303	0	Prohlášení o shodě
23.305	0	Prohlášení o shodě
23.561	0	Prohlášení o shodě
Návrh a konstrukce		
23.601	0	Prohlášení o shodě
23.603	0	Prohlášení o shodě
23.607	0	Prohlášení o shodě
23.609	0	Prohlášení o shodě
23.610	0	Prohlášení o shodě
23.613	0	Prohlášení o shodě
23.867	0	Prohlášení o shodě
Vybavení		
23.1301	0,5,6	Prohlášení o shodě, Pozemní zkoušky, Letové zkoušky
23.1309	3	Analýza bezpečnosti
Elektrické systémy a vybavení		
23.1351	0,2	Výpočet analýza
23.1357	2	Výpočet analýza
23.1359	0	Prohlášení o shodě
23.1365	0	Prohlášení o shodě
Letová příručka		
23.1581	1	Doplňk do letové příručky
23.1585	1	Doplňk do letové příručky

Tabulka 3.2: Kódy způsobů průkazu, převzato z [27]

Druh vyhovění	Způsob vyhovění	Související doklad o vyhovění
Technické vyhodnocení	MC0:- Prohlášení o shodě Odkaz na dokumentaci typového návrhu Volba metod, činitelů Definice	Dokumentace typového návrhu Zaznamenaná prohlášení
	MC1:- Přezkoumání návrhu	Popisy, výkresy
	MC2:- Výpočet / analýza	Odůvodňovací zprávy
	MC3:- Posouzení bezpečnosti	Analýza bezpečnosti
Zkoušky	MC4:- Laboratorní zkoušky	Programy zkoušky Zkušební zprávy Interpretace zkoušky
	MC5:- Pozemní zkoušky	
	MC6:- Letové zkoušky	
	MC8:- Simulace	
Kontrola	MC7:- Kontrola/audit návrhu	Zprávy o kontrole auditu
Kvalifikace vybavení	MC9:- Kvalifikace vybavení	Kvalifikace vybavení je proces který může zahrnovat veškeré předešlé způsoby průkazu

4 Plnění předpisové základny

Dokumenty plnění předpisové základny obsahují. výpočty analýzy, výkresy, schémata, zprávy atd. a jsou záznamem o tom jakým způsobem je prokázána shoda s předpisovou základnou.

Cílem je instalovat zařízení, které nepředstavuje žádné nebezpečí a neohrožuje letadlo, posádku nebo cestující. Toho dosáhneme plněním předpisové základny v dotčených bodech viz tabulku 3.1.

Způsoby průkazu podle číselného označení vychází z dokumentu 748/2012.

4.1 Prohlášení o plnění předpisové základny MC 0

Plnění následujících bodů předpisu *CS 23.301*, *CS 23.303*, *CS 23.305*, *CS 23.561*, *23.601*, *23.613* *23.607*, *23.609*, *23.610*, *23.613*, *23.867*, *23.1301*, *23.1351*, *23.1359*, *23.1365* a způsob průkazu MC 0. Pro výpočty musí být použit součinitel bezpečnosti hodnoty 1,5.

Pro dimenzování upevňovacích prvků a spojovacího materiálu musí být použity hodnoty.

- směrem nahoru 3,0 g;
- směrem dopředu 18,0 g; a
- v bočním směru 4,5 g.

Vhodné normy pro spojovací materiál jsou - Military Standard (MS) , Society of Automotive Engineers (SAE), Aerospace Industries Association/National Aerospace Standards (AIA/NAS), ČSN-EN-ISO. Použitím vhodného materiálu EN AW-2024, ČSN 424250 o vhodné tloušťce se splní požadavky na konstrukční materiál na upevnění zapisovače. Tak aby nedošlo k uvolnění nebo deformaci. Pro dimenzování průřezu vodiče dle tabulky 4.1 [3] na jistič uvedený v instalačním manuálu zapisovače.

Instalace nových vodičů, které vyhovují NEMA WC27500 [28] kde jsou použité stíněné vícevodičové kabely. A SAE AS 22759/186 pokud jsou použity jednotlivé vodiče. Tyto vodiče a jejich izolace jsou vhodné pro instalaci v letadlech, konkrétní doporučení týkající se zásad dodatečných úprav kabeláže jsou uvedeny v AC43-13-1B [3], především vedení kabeláže, dodatečných napojení a ochrana proti ostrým hranám. Tyto zásady by měly být během instalace dodrženy. Podpora pro instalaci a dodržení vysokých standardů by měly být součástí dostatečně popisné instalační dokumentace obsahující instrukce a výkresy. Je nutné dodržet řádné označování všech vodičů, zemnicích bodů a jističů.

AMC applicable means of compliance, kódové označení

Tabulka 4.1: Průřez vodičů dle [3]

Průřez vodiče [mm ²]	AWG	Jistič (A)	Pojistka (A)
0,33	22	5	5
0,52	20	7,5	5
0,82	18	10	10
1,31	16	15	10
2,08	14	20	15
3,31	12	30	20
5,26	10	40	30
8,36	8	50	50
13,29	6	80	70
21,14	4	100	70
33,61	2	125	100
42,39	1	-	150
53,46	0	-	150

5 Další certifikační dokumentace

5.1 Přezkoumání návrhu MC1

5.1.1 Doplněk do pilotní příručky

Plnění následujících bodů předpisu *CS 23.1581 Všeobecně*, *CS 23.1585 Provozní postupy*

Doplněk do pilotní příručky by měl obsahovat základní popis systému a jeho funkce. Pokud je součástí indikace stavu zapisovače popis indikace provozuschopného stavu a průběh vnitřního testu. Indikace chybového stavu. Dále by měl dodržet původní rozdělení kapitol. Doporučené dělení kapitol příručky je dle GAMA specifikace 1 [24] následující:

1. Obecné
2. Provozní omezení
3. Nouzové postupy
4. Normální postupy
5. Výkony
6. Hmotnost a vyvážení/ seznam vybavení
7. Popis letadla a systémů
8. Obsluha a údržba letadla
9. Doplnky do letové příručky

V publikaci GAMA jsou také uvedené obecné zásady pro vypracování doplňku do pilotní příručky.

5.1.2 Instrukce pro zachování letové způsobilosti

V případě, že výrobek obdržel schválení ETSOA má výrobce povinnost dodat podklady pro vypracování instrukcí pro zachování letové způsobilosti (Instruction for Continued Airworthiness, ICA) [27]. ICA slouží jako podklady pro údržbu a zajišťují setrvání výrobku v letově způsobilém stavu.

Na základě práva uvedenému v nařízení komise EU 748/2012 [27] bod 21A.263(c)(3) má DOA možnost schválit ICA.

Tabulka 5.1: Požadavky na údržbu dle [7] a [?]

Položka	Úkon	Maximální interval	Popis
1a	Provozní kontrola	Před každým letem	Potvrzení provozuschopnosti pomocí test tlačítka, nebo kontrolky
1b	Provozní kontrola	150 letových hodin nebo týden	Stažení záznamu po letu a ověření správnosti zapsaných dat
2	Kontrola systému a správnosti zapisovaných údajů	2 roky	Stažení záznamu po letu a ověření správnosti zapsaných dat

Symbole použité pro schéma zapojení mohou vycházet z použitých symbolů v originální dokumentaci letadla nebo standardní symboly např. ANSI Y32.2-1975 [29] pokud jsou použity vlastní symboly, nebo nějak upravená verze je vhodné doplnit schéma o legendu s výkladem. V Part 21.A107 je uvedeno, že držitel schválení nevýznamné změny je povinen každé letadlo, na kterém byla provedena tato nevýznamná změna vybavit instrukcemi k zachování letové způsobilosti v souladu s certifikační předpisovou základnou.

V tomto případě je použita předpisová základna CS-23 dodatek 4 a v tomto předpisu bod 23.1529 uvádí, že musí být vypracovány instrukce pro zachování letové způsobilosti v souladu s dodatkem G. V dodatku G je uvedeno, že ICA pro letoun musí obsahovat ICA pro každý motor, vrtuli a zařízení požadované předpisem CS-23. [27] To znamená, že ICA v tomto případě nejsou předpisem vyžadovány. Nicméně se domnívám, že je vhodné vypracovat ICA i v tomto případě.

V dodatku G předpisu CS-23 [23] je pro ICA doporučena následující struktura.

5.1.3 Příručka údržby

- Popis systému a zástavby. V této kapitole ICA by měl být popis systému a všech jeho částí
- Základní informace o ovládání a funkci systému.
- Informace o provádění obsluhy a údržby.

5.1.4 Instrukce pro údržbu

- Časový plán a rozsah údržby.

V případě implementování FDM vyžaduje samotná podstata denní sbírání dat ze zapisovače. Je potom otázkou, jak probíhá vyhodnocení získaných dat a zda

je během této opakované činnosti možné vyhodnotit chybně zapisované údaje. Navrhovaný provozní předpis navrhuje pravidelnou kontrolu systému stanovit na 150 h nebo týden, podle toho co nastane dříve. [?]

- Informace o zjišťování a odstraňování závad.
Tato kapitola by měla popsat všechny možné indikované chybové stavy. Pokud je nutné připojit se k zařízení přes konektor pro údržbu, měla by tato kapitola obsahovat veškeré informace potřebné k tomuto připojení.
Tato kapitola obsahuje pravděpodobné závady, možné příčiny, způsoby projevů závad a způsoby jejich odstranění.
- Způsob demontaže.
Kapitola obsahující všechna relevantní data k demontáži přístrojů.
- Další instrukce.
Zahrnuje například kalibrační tabulky a instrukce pro kalibraci snímačů polohy. Pokud jsou součástí instalace snímače polohy říditelných ploch, měla by být provozovateli a organizaci údržby dostupná dokumentace k provedení kalibrace snímačů. Nejjednodušší způsob snímání polohy je přes rotační víceotáčkový odporový snímač. Každá snímaná poloha odpovídá jinému napětí na výstupu ze snímače. Snímání polohy klapek se dá dosáhnout použitím koncových mikrospínačů, anebo stejným odporovým snímačem jako pro říditelné plochy. Pro vyhodnocení polohy klapek odporovým snímačem je nutné zaznamenat odpovídající odečítané hodnoty napětí pro každou polohu. Pro účely údržby musí být dostupné dostatečně jasné instrukce a prostředky pro provedení takové kalibrace, například po provedené údržbě, která zahrnovala rozpojení řídicích prvků. Základní kalibrační hodnoty musí být zaznamenány v dokumentaci a předané jako součást instrukcí pro zachování letové způsobilosti.

5.2 Výpočty MC 2

5.2.1 Hmotnost a těžiště

Podklady pro záznam změny vyvážení a hmotnosti musíme získat z relevantních zdrojů jako jsou například: TCDS, provozní omezení, letová příručka, protokol o vyvážení a hmotnosti a příručka pro údržbu (MM).

V tomto případě lze konstatovat, že instalace lehkého zapisovače výrazně neovlivní hmotnost ani polohu těžiště. Přesto je vhodné tvrzení ověřit konkrétním výpočtem změny hmotnosti a těžiště po instalaci.

V případě rozsáhlých změn je nutné novou hmotnost a polohu těžiště určit měřením a letadlo zvážit. Provozovatel je odpovědný za udržování všech údajů o stavu letadla aktuální.

5.2.2 Energetická bilance

Plnění následujících bodů předpisu *CS 23.1351*, *CS 23.1357* a způsob průkazu MC2 Součástí této analýzy by měl být krátký popis elektrické sítě a jejích prvků.

Účelem této analýzy je posoudit, zda dodatečným odběrem z elektrické letadlové sítě nedojde k jejímu přetížení. V tomto případě, kdy se jedná o instalaci v podstatě havarijního zapisovače, je vhodné připojit napájení přímo na bateriovou sběrnici. To znamená, že zapisovač bude zaznamenávat data před a během spuštění motoru a zápis bude končit až po vypnutí motoru. Pokud je do zapisovače připojen výstup z motorových ukazatelů, budou tak zaznamenána všechna důležitá provozní data motoru.

Standarty v MIL-7016F jsou příliš komplikované a nehodí se pro aplikaci v lehkých letadlech. Nejvhodnější by bylo použít postup podle norem ASTM 2490-5, ale k tomuto dokumentu jsem v době psaní bakalářské práce neměl přístup. Jako výchozí dokument a doporučení jsem použil [34].

Pokud je dostupná analýza proudové zátěže stávající instalace doplní se pouze požadavky na odběr nového zařízení. Výpočet musí ukázat, že generátor má dostatečný výkon napájet nové zařízení.

Příklad tabulky 5.2 pro analýzu proudové zátěže. Pro každou sběrnici na letadle se provede analýza proudové zátěže. Výsledky ze všech sběrnic se sečtou a výsledný proud nesmí přesáhnout 85 % jmenovité hodnoty proudu generátoru[34].

Tabulka 5.2: Proudová zatížitelnost

Typ	zařízení	maximální proud (A)	kontinuální proud (A)
Σ			

LARS představuje poměrně nízkou dodatečnou zátěž letadlové sítě, přesto je nutné ověřit, zda generátor poskytuje dostatečný výkon pro napájení a že baterie i po připojení nového komponentu má dostatečnou kapacitu pro napájení všech potřebných zařízení po dobu minimálně 30 minut po výpadku primárního zdroje.

Standarty v MIL-7016F jsou příliš komplikované a nehodí se pro aplikaci v lehkých letadlech. Nejvhodnější by bylo použít postup podle norem ASTM 2490-5), ale k tomuto dokumentu jsem v době psaní bakalářské práce neměl přístup. Jako výchozí dokument a doporučení jsem použil [34].

Z důvodu připojení na bateriovou sběrnici je nutné také ověřit výpočtem požadavek na nouzové napájení nezbytných přístrojů pro let po dobu 30 minut. Tímto výpočtem se ověří požadavek předpisu 23.1353 (h) K tomuto výpočtu bude uvažována kapacita baterie jako 75% jmenovité kapacity baterie. Tento odhad je v souladu s ASTM F2490-05 [?]

5.2.3 V případě, že analýza pro dané letadlo není dostupná

K doplnění údajů mohou být použity instalační materiály výrobce daných zařízení, nebo specifikační list.

Zařízení jako je letový zapisovač je nutné připojit na sběrnici baterie. V důsledku toho musíme ověřit i dostatečnou kapacitu baterie v případě výpadku hlavního zdroje. V případě výpadku musí dále napájet všechny nezbytné přístroje po dobu 30 minut.

Podle metodiky MIL 7016 by koeficient pro výpočet kapacity baterie neměl přesáhnout 80 % procent, podle CS-23 amdt 4 je to hodnota 72 % a podle ASTM2490-5 je to 75 %. Pro případ letadla certifikovaného podle CS-23 bych zvolil hodnotu dle CS-23 a to 72 %, je to konzervativnější hodnota a proto je bezpečnější.

$$\frac{C \cdot 60 (\text{Ah})}{I_b (\text{A})} = t (\text{min})$$

Kde C je kapacita baterie v (Ah) a I_b součet proudu na bateriové sběrnici v (A)

5.3 Analýza bezpečnosti systému MC 3

Plnění následujících bodů předpisu 23.1301, 23.1309 způsob průkazu MC3.

Hlavní úloha analýzy bezpečnosti systému je posoudit a určit požadavky na úroveň bezpečnosti přístrojů instalovaných v letadle. Přiřazené úrovně jsou v tabulce 5.3.

Tabulka 5.3: Vztah mezi závažností poruchy a povolenou pravděpodobností poruchy dle [31]

Vliv na bezpečnost při poruše	Povolená pravděpodobnost poruchy	DAL letadel pro sběrnou dopravu
Žádný	Žádný požadavek	žádný požadavek
Nepatrný	Pravděpodobná	$< 10^{-3}$
Vážný	Nízká pravděpodobnost	$< 10^{-5}$
Nebezpečný	Velmi nízká pravděpodobnost	$< 10^{-7}$
Katastrofický	Extrémně nepravděpodobná	$< 10^{-9}$

Jako analýzu bezpečnosti jsem zvolil kvalitativní posouzení selhání funkce a vliv na bezpečnost provedení letu (Functional Hazard Assessment, FHA) popsanou v dokumentu AC23-1309-1E [31]. Tato metoda je použita k identifikování rizikových stavů vztahených k funkci zapisovače a jejich vlivu na bezpečnost letadla. Posouzení se týká funkce zaznamenat parametry letu definovaných v tabulce 2.3.

Na základě posouzení funkce selhání zapisovače. Jsem dospěl k výsledku, že není nutné určit kvantitativně pravděpodobnost selhání zapisovače.

Dopad poruchy systému na bezpečnost letadla a její význam dle [31].

- Žádný - závada takového systému nemá žádný dopad na provoz letadla ani vliv na posádku za letu.
- Nepatrný - závada, která nemá zásadní dopad na bezpečné provedení letu, může vyžadovat zásah posádky v rámci jejich schopností. Tato závada může představovat mírné snížení provozních schopností letadla.
- Vážný - závada má vážný vliv na pracovní zátěž posádky, představuje snížení bezpečnosti letu nebo provozních schopností letadla.
- Nebezpečný - závada, která by snížila schopnost letounu nebo schopnost posádky vyrovnat se podmínkami vzniklými následkem této závady.
- Katastrofický - závada jejíž následkem se očekává úmrtí cestujících nebo ke ztrátě způsobilosti a smrtelnému zranění člena posádky, obvykle se ztrátou letounu.

Funkce zápisu dat pro účely FDM nejsou pro bezpečné provedení letu relevantní. Funkce uchování dat při nehodě je zajištěna plněním požadavků předpisu ED-155. DDP dodané výrobcem je v tomto případě dostatečným průkazem.

5.3.1 Posouzení selhání funkce zapisovače

Tabulka 5.4: Posouzení selhání funkce zapisovače

Funkce	Poruchový stav popis rizika	Kritická fáze letu	Vliv poruchy	Ohodnocení
Zápis letových dat	Ztráta dat zapisovaných během letu	Všechny	1	Žádný vliv na bezpečnost letu
Indikace stavu	Indikace nesprávného stavu zapisovače	Všechny	2	Žádný vliv na bezpečnost letu

¹ V případě indikace poruchového stavu v kabině se posádka dozví o nefunkčnosti systému. Na provedení letu porucha nemá žádný vliv. Pilot nahlásí chybu a údržba provede kontrolu systému.

² V případě nesprávné indikace nebude zaznaménán poruchový stav systému. Údržba v momentě pravidelné prohlídky odhalí nesprávnou funkci a provede nezbytnou údržbu.

Na základě tohoto kvalitativního posouzení a porovnání toto považuji za dostatečné odůvodnění pro DAL

Účelem posouzení selhání funkce je stanovit povolenou pravděpodobnost selhání zařízení. V případě letadla vybaveného pokročilou avionikou, jako je případ III. z tabulky 2.1, je připojení na stávající přístrojové vybavení provedeno pomocí digitální

sběrnice ARINC 429 nebo dalších digitálních sběrnic běžně používaných v civilním letectví. Tím je v podstatě vyloučeno nepříznivé ovlivnění funkce zdrojového přístroje. Například ve specifikaci sběrnice ARINC 429 je základní požadavek na izolování poruchy na každém vstupu i výstupu [32].

Pokud je v kabině instalován indikátor stavu zapisovače, je nesprávná funkce indikována pilotovi. Při tomto stavu se od pilota nevyžaduje žádná akce a porucha nemá žádný vliv na bezpečnost provedení letu. Ovlivnění dalších systémů EMC a EMI bude vyzkoušeno v rámci pozemních a letových zkoušek. Pokud selhání funkce instalovaného vybavení nemá žádný vliv na bezpečnost letu, nemusí se provádět kvantitativní analýza a počítat pravděpodobnost selhání.

Tabulka 5.5: Posouzení selhání funkce zapisovače

Funkce	Poruchový stav popis rizika	Kritická fáze letu	Vliv poruchy	Ohodnocení
Zápis letových dat	Ztráta dat zapisovaných během letu	Všechny	1	Žádný vliv na bezpečnost letu
Indikace stavu	Indikace nesprávného stavu zapisovače	Všechny	2	Žádný vliv na bezpečnost letu

¹ V případě indikace poruchového stavu v kabině se posádka dozví o nefunkčnosti systému. Na provedení letu porucha nemá žádný vliv. Pilot nahlásí chybu a údržba provede kontrolu systému.

² V případě nesprávné indikace nebude zaznaménán poruchový stav systému. Údržba v momentě pravidelné prohlídky odhalí nesprávnou funkci a provede nezbytnou údržbu.

Při poruše zápisu letových dat je riziko ovlivnění dalších systémů velice nepravděpodobné.

(DAL) Design Assurance Level

level E

Tato ohodnocení poruchových stavů a vlivu na bezpečnost letu ukázala, že není potřeba další kvantitativní ověření pravděpodobnosti poruchy.

Úkolem posouzení bezpečnosti je zajištění přijatelné úrovně bezpečnosti zařízení a systému instalovaných v letadle.

Vztah mezi pravděpodobností poruchy a závažností následků poruchy jsou následující:

level of risk

b. The safety assessment objective is to ensure an acceptable safety level for equipment and systems installed on the airplane. A logical and acceptable inverse relationship should exist between the average probability per flight hour and the severity of failure conditions effects (as shown in figure 2). This figure defines the appropriate airplane systems probability standards for four certification classes of airplanes designed to part 23 standards. The relationship between probability and severity of failure condition effects are as follows:

An SSA is required to determine the level of certitude for the processes in standard and guidance documents such as RTCA/DO-178B, RTCA/DO-254, AC 20-136A, and AC 20-158 or equivalent

step by step diagram

- Ohodnocení všech letadlových systémů a každou položku zda pro ně platí následující:
- Určit zda provoz instalovaného zařízení nemá žádný nepříznivý vliv na letadlo. Ověřit toto letovými nebo pozemními zkouškami.
- Určí zda selhání nebo porucha instalovaného zařízení nemůže dojít k nepřiměřenému nebezpečí nebo ohrožení

Lehký zapisovač letových dat spadá do kategorie: nepotřebné pro bezpečný provoz.

Toto zařízení : not essential to safe operations [31]

In general, common design practice provides physical and functional isolation from components that are essential to safe operation. A429 specification Fault Isolation 2.2.6.1 Receiver Fault Isolation Each receiver should incorporate isolation provisions to ensure that the occurrence of any reasonably probable internal LRU or bus receiver failure does not cause any input bus to operate outside of its specification limits (both undervoltage or overvoltage). 2.2.6.2 Transmitter Fault Isolation Each transmitter should incorporate isolation provisions to ensure that it does not under any reasonably probable LRU fault condition provide an output voltage in excess of: a. a voltage greater than 30 Vac RMS between terminal A and B, or

Norma ARINC 429 nijak konkrétně nespecifikuje jak toho dosáhnout.

5.4 Pozemní zkoušky MC 5

Účel pozemních zkoušek je posoudit, zda nově instalované zařízení plní svou funkci a zda nemá nepříznivý vliv na ostatní zařízení v letadle.

Zvláště pozorně by se měl sledovat vliv na zařízení nezbytné pro provedení letu jako je komunikace, odpovídač atp. Navrhují pozemní zkoušky v rozsahu základních MOPS pro LARS, ED-155.

5.4.1 Elektromagnetická kompatibilita

Základní elektromagnetická kompatibilita je daná požadavky na samotné zařízení již při návrhu a vývoji. Tyto požadavky jsou ověřeny v rámci laboratorních testů a jsou součástí EQF[33]. Na tuto složku EMC máme vliv ve fázi výběru konkrétního zařízení jakmile zařízení instalujeme nezbyvá nám než dodržet doporučení výrobce

Tabulka 5.6: Tabulka pro záznam EMC

je ovlivněn	LARS	jiné zařízení
ovlivňuje		
LARS		
jiné zařízení		

ohledně instalace zařízení. Ohledně EMC můžeme ovlivnit celkovou instalaci připojením na stávající systémy a kabeláží a metodami stínění atd. I v tomto případě je nutné dodržet doporučení výrobce a řídit se jím. Pokud žádné takové doporučení neexistuje. Je nutné zachovat obecné zásady :

- Stínění vodičů by nemělo být přivedeno dovnitř odstíněné krabice.
- Stínění vodičů by mělo být propojeno na pouzdro vybavení na obou koncích kabelu.

V rámci pozemních zkoušek se ověří, zda zástavbou přístroje nedojde k nepříznivému ovlivnění jiných již instalovaných přístrojů. Zároveň se ověří, zda elektromagnetické prostředí v letadle nemá nepříznivý vliv na instalované zařízení. V rámci tohoto testu postačuje kvalitativní posouzení a není potřebné přesné měření. Příklad pro záznam kvalitativního posouzení je v tabulce 5.6.

Záznam z pozemní zkoušky je součástí certifikační dokumentace.

5.5 Letové zkoušky MC 6

Letové zkoušky následují po úspěšných pozemních zkouškách. Účelem letových zkoušek je potvrdit správnost zápisu dat ověřených během pozemních zkoušek, dále ověřit zápis těch dat, které je možné zaznamenat pouze v průběhu letu. Pro účel letové zkoušky by měl být vypracován program s popisem konkrétních bodů zkoušky. Program letové zkoušky by měl pokrýt všechny režimy letu tzn. vzlet, stoupání, let v hladině, klesání, přiblížení a přistání. Během letu by měly být ověřeny minimálně tyto body:

- Záznam parametrů indikovaných na přístrojích v kabině ve všech režimech letu pro kontrolu shody se záznamem.

- Elektromagnetická interference: provoz všech radiovysílačů a elektrických spotřebičů.

Součástí certifikační dokumentace je záznam z letové zkoušky. V případě následných instalací není potřeba opětovných pozemních a letových zkoušek. [7]

Po splnění všech zkoušek a kompletaci dokumentace by měl CVE správnost všech údajů potvrdit. Toto by mělo být ošetřeno vnitřním postupem DOA.

V případě významných změn provádí schválení agentura.

6 Přínos LARS pro provozovatele letadel

Jako hlavní výhodu instalace záznamového zařízení vidím zřízení FDM provozovatelem. Při správném nastavení tohoto programu, poskytne provozovateli vhled do každodenních praktik provozu. Důležitou podmínkou je nerepresivnost systému. Posádky by neměli být na základě zjištění postihováni, ale v prvním případě správně informováni.

6.1 Sledování letových parametrů

FDM je proces, jehož součástí je záznam letových parametrů, shromáždění záznamů a analýza provozních údajů. Letové parametry jsou shromážděny pravidelně při údržbě, anebo po každém letovém dni. FDM program je definovaný jako proaktivní program, který nezavádí postihy. Hlavním úkolem je sběr dat pořízených za běžného provozu letadla a následná analýza dat ke zlepšení bezpečnosti.

FDM zaznamenává odchýlení se od běžných praktik a zavedených postupů v příručkách leteckých společností. Především mění zavedený systém reakce na nehodu nebo incident zavedením nápravného opatření a místo toho se snaží proaktivně předcházet nehodám a incidentům pomocí předpovědi trendů pomocí analýzy získaných dat z provozu.

Na příkladu Heinrichovy pyramidy lze znázornit, že samotné nehodě předchází několik incidentů a mnoho situací mimo zavedené standardy. [35] Pomocí FDM by mělo jít odhalit už odchýlení od provozních standardů.

Jiné připodobnění nabízí představu krabíčky do níž vstupuje světlo. Průnik světla skrz krabíčku představuje nehodu. Uvnitř krabíčky se otáčí mnoho kotoučů s dírou na okraji. Průniku světla odpovídá zarovnání všech kotoučů právě v jedné přesné poloze. Každý kotouč zde představuje jeden faktor přispívající k výsledné nehodě. Pomocí FDM lze sledovat stav jednotlivých "koleček" uvnitř krabíčky, a tak přizpůsobit preventivní opatření už při vychýlení trendů směrem k nepřijatelnému riziku. [36]

Úřad civilního letectví spojeného království v kooperaci s provozovatelem letecké služby pro těžařskou společnost provedl studii ohledně aplikace FDM programu na flotilu šesti vrtulníků. Část ve které se monitoroval provoz vrtulníků trvala 2 roky. Závěry studie potvrdily výhody zavedení FDM a provozovatel, jež se studie účastnil rozšířil program na zbytek své flotily. [36]

Pilotním projektem s dobrovolnou instalací lehkého letového zapisovače do stávajících provozovaných typů mohou také provozovatelé využít k seznámení s technologií. V budoucnu tak získají jasnou představu co přesně požadovat po lehkém zapisovači a jak případně zpracovávat získaná data a jak je využít.

Hlavní výhodou je ve zvýšení bezpečnosti.

Majitel letadla nebo organizace pověřená údržbou má dobrý přehled jak je letadlo provozováno. Data z FDM programu odhadnout rizika

6.1.1 Bezpečnostní výhody

Nástroj FDM se prokázal jako účinný při zvyšování úrovně bezpečnosti při aplikaci na dopravních letadlech. [37]. Organizace CASE Corporate Aviation Safety Executive identifikovala zhoršující se trend v míře bezpečnosti v segmentu Business aviation a podporuje zavádění FDM pro menší provozovatele v tomto segmentu. Jako výhody při zvýšení bezpečnosti lze uvést.

- Proaktivní a přesná identifikace a prevence rizik a nebezpečí v provozu.
- Rozhodování na základě podložených dat.
- Zlepšení výcviku pilotů na základě získaných dat a identifikovaných rizicích v provozu.

[38]

6.1.2 Provozní výhody

Zlepšení v postupech létání, výcviku, postupech provozu, sledování funkce FDR

- Možnost vyhodnotit a vylepšit provozní postupy.
- Zvýšení dostupnosti letadla, data z FDM mohou být využita ve prospěch údržby tím, že poskytují přesné údaje a trendy využitelné pro údržbu.
- Možné snížení povinného pojištění na základě prokazatelného zlepšení bezpečnosti provozu.
- Vyšší prestiž u zákazníků - Prokazatelně vedoucí pozice provozovatele na poli inovací a bezpečnosti.
- Warranty support - definitive usage evidence

Výsledkem FDM dle FDM pro letadla ATR[39] a [9] by mělo být:

- Identifikace nebezpečí a rizikových faktorů.
- Určení závažnosti a pravděpodobnosti incidentu nebo nehody.
- Definice nápravných opatření.
- Hodnocení účinnosti zavedených opatření.

Závěr

S tím jak vejde v platnost povinnost instalace lehkých letových zapisovačů, určitě dojde i k rozšíření nabídky na straně výrobců zařízení. Již v této době je dostupné schválené zařízení, které by vyhovělo předpisům. Navíc lze očekávat docertifikaci již nyní dostupných zapisovačů.

Navrhovaná legislativa nemá v plánu zavést povinnost instalace kamer AIRS ani hlasových zapisovačů. Tím je zohledněna obava o soukromí pilotů, kterou vyjadřují. Výhody zmíněné v kapitole 6 opodstaňují i dobrovolnou instalaci LARS. V plné konfiguraci, kdy bude sloužit pro sběr běžných provozních dat.

Segment všeobecného letectví (GA) je velmi citlivý na náklady na provoz a tak by bylo vhodné vypracovat analýzu nákladů a přínosů na zavedení FDM pro segment všeobecného letectví.

Certifikace zástavby je za prokázání plnění předpisové základny možná. O schválení takové zástavby může žádat jakákoli fyzická či právnická osoba. V takovém případě schválení vydá EASA. Další možností je obrátit se na organizaci schválenou pro projektování s příslušným zaměřením. Jako důležité se jeví konkrétní rozhraní připojení LARS a podle toho zvolit konkrétní zařízení, které splní požadované parametry zápisu dat.

Aby se zapisovač pravdu používal je nutné zajistit bezpečí dat. Co možná nejjednodušší obsluhu při každodenním stahování dat z letadel. A nastavit vhodnou firemní kulturu kde se za chyby netrestá, ale je možné se z nich poučit.

Dle mého názoru by měla by být podpořena snaha o jednodušší certifikaci dostupných zařízení, které snižují zátěž posádky a které podporují bezpečnost. Byla provedena studie na posouzení zda lépe vybavená letadla mají nižší nehodovost. Při mírné korelaci, která naznačovala, že lépe vybavená letadla mají méně nehod se nepodařilo dokázat přímou souvislost. [10]. Jistě k tomuto faktoru může přispívat větší spolehlivost přístrojů bez pohyblivých součástí. V současnosti kdy je certifikace v kategorii CS-23 stále poměrně složitá lze pozorovat trendy v migraci

Domnívám se, že je pravděpodobnější nejnovější současné technologie vidět v letadlech nižší vzletové hmotnosti certifikovaných podle méně složitých předpisů. Snadnější certifikace by se dalo dosáhnout pokud by bylo možné ověřovat spolehlivost provozem. A nejprve nainstalovat za přijetí odpovídajících bezpečnostních opatření zařízení experimentálně. Samozřejmě letová způsobilost není exaktní věda a vždy záleží na výkladu dohlížecího úřadu.

Literatura

- [1] CAMPBELL, Neil A. H. *The Evolution of Flight Data Analysis* [online]. 2007 [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: https://asasi.org/papers/2007/The_Evolution_of_Flight_Data_Analysis_Neil_Campbell.pdf
- [2] EASA. *In-flight recording for light aircraft: NPA 2017-03* [online]. [cit. 2019-08-05]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/NPA%202017-03.pdf>
- [3] FAA. *Acceptable Methods, Techniques, and Practices Aircraft Inspection and Repair* [online]. 1998 [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_43.13-1B_w-chg1.pdf
- [4] EASA. *Investigation of the technical feasibility and safety benefit of a light aeroplane Flight Data Monitoring (FDM) system* [online]. 2008 [cit. 2019-08-04]. Dostupné z: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA_REP_RESEA_2007_2.pdf
- [5] EASA. *Minor change certification guidance document* [online]. [cit. 2019-11-02]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/download/general-aviation/documents-guidance-and-examples/Minor%20Change%20Certification%20Guidance%20Document%20-%202017.02.16%20-%20v1.docx>
- [6] RTCA. *Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment* [online]. 2010 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <https://do160.org/rtca-do-160g/>
- [7] EUROCAE. *MOPS Lightweight Flight Recording Systems: ED 155* [online]. 2009 [cit. 2019-08-04]. Dostupné z: <https://eshop.eurocae.net/eurocae-documents-and-reports/ed-155/#non-member>
- [8] EUROCAE. *MOPS for crash protected airborne recorder systems: ED 112* [online]. 2013 [cit. 2019-08-05]. Dostupné z: <https://standards.globalspec.com/std/1629860/eurocae-ed-112>
- [9] CAA UK. *Flight Data Monitoring: CAP 739* [online]. 2013 [cit. 2019-08-10]. Dostupné z: <http://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAP739.pdf>
- [10] NTSB. *Introduction of Glass Cockpit Avionics into Light Aircraft Safety Study: NTSB/SS-01/10 PB2010-917001* [online]. 2010 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <https://www.nts.gov/safety/safety-studies/Documents/SS1001.pdf>
- [11] GAMA. *shipment report* [online]. [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <https://gama.aero/facts-and-statistics/quarterly-shipments-and-billings/>

- [12] CAA UK. *CS-VLA compliance checklist* [online]. [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <http://www.lightaircraftassociation.co.uk/2010/Engineering/Design/CS-VLA/CS-VLA%20Compliance%20Checklist.doc>
- [13] FAA. *14 CFR Part 23 Reorganization Aviation Rulemaking Committee* [online]. 2011 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: https://www.faa.gov/regulations_policies/rulemaking/committees/documents/media/Part23RARC-8152011.pdf
- [14] FAA. *Acceptable Methods, Techniques, and Practices — Aircraft Alterations: AC 43.13-2B* [online]. 2008 [cit. 2019-08-05]. Dostupné z: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC%2043.13-2B.pdf
- [15] EASA. *Certification Specifications for Standard Changes and Standard Repairs: CS-STAN* [online]. 2019 [cit. 2019-08-06]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/CS-STAN%20Issue%203.pdf>
- [16] EASA. *List of ETSO Authorisations* [online]. 2019 [cit. 2019-08-09]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/download/etso/etsoa.pdf>
- [17] L-3 Technologies. *Lightweight Data Recorder* [online]. [cit. 2019-08-09]. Dostupné z: https://cdn.l3commercialaviation.com/media/1542/mkt059-ap_ldr_1-17rev1.pdf
- [18] ETEP. *Dtmux-Sentinel Datasheet* [online]. [cit. 2019-08-09]. Dostupné z: <http://www.etep.com/documentation/DATASHEET/DTMUX-SENTINEL.pdf>
- [19] iAero – i2A SAS. *IAERO* [online]. [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <https://www.iaero.fr/apibox-system/system-description/>
- [20] CAA UK. *The Effectiveness of Image Recorder Systems in Accident Investigations: CAP 762 CAA research project* [online]. 2006 [cit. 2019-08-10]. Dostupné z: <https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAP%20762.pdf>
- [21] RTCA. *Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment: DO 160F* [online]. 2007 [cit. 2019-08-11]. Dostupné z: <http://www.rtca.org>
- [22] SPITZER, Cary, Uma FERREL a Thomas FERREL, ed. *Digital Avionics Handbook*. 3 rd Edition. United States: CRC Press Taylor & Francis, 2014. ISBN 9781439868614.
- [23] EASA. *Specifications for Normal, Utility, Aerobatic, and Commuter Category Aeroplanes: CS-23 Amendment 4* [online]. 2015 [cit. 2019-08-11]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/CS-23%20Amendment%204.pdf>
- [24] GAMA. *Specification for Pilot's Operating Handbook: Gama Specification No. I* [online]. 1996 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <https://gama.aero/facts-and-statistics/publications/gama-and-industry-technical-publications-and-specifications/>

- [25] EASA. *Easy Access Rules for European Technical Standard Orders (CS-ETSO) (Amendment 14)* [online]. 2018 [cit. 2019-08-13]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Easy%20Access%20Rules%20CS-ETSO%20%28Amendment%2014%29.pdf>
- [26] EASA. *Commission Regulation (EU) No 965/2012 on air operations, Consolidated version for Easy Access Rules Revision 12* [online]. 2019 [cit. 2019-08-13]. Dostupné z: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Air%20OPS%20Easy%20Access%20Rules_Rev.12_March%202019.pdf
- [27] EASA. *Easy Access Rules for Airworthiness and Environmental Certification (Regulation (EU) No 748/2012)* [online]. 2018 [cit. 2019-08-13]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Easy%20Access%20Rules%20for%20Part-21.pdf>
- [28] NEMA. *American National Standard for Aerospace and Industrial Electrical Cable* [online]. 2015 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <https://www.nema.org/Standards/Pages/Standard-for-Aerospace-and-Industrial-Electrical-Cable.aspx>
- [29] ANSI a IEEE. *Graphic Symbols for Electrical and Electronics Diagrams* [online]. 1975 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: https://www.ee.iitb.ac.in/~spilab/Tips/ansii_graphic_symbols_for_electrical_and_electronics_daigrams_1993.pdf
- [30] FAA. *Certification Process Study* [online]. 2009 [cit. 2019-08-14]. Dostupné z: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/avs/offices/air/directorates_field/small_airplanes/media/CPS_Part_23.pdf
- [31] FAA. *System Safety Analysis and Assessment for Part 23 Airplanes: AC No: 23.1309-1E* [online]. 2011 [cit. 2019-08-19]. Dostupné z: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_23_1309-1E.pdf
- [32] ARINC. *Digital Information Transfer System (DITS), Part 1, Functional Description, Electrical Interfaces, Label Assignments and Word Formats* [online]. 2019 [cit. 2019-08-21]. Dostupné z: <https://www.aviation-ia.com/products/429p1-19-digital-information-transfer-system-dits-part-1-functional-description-electrical>
- [33] DR. PEREZ, Reinaldo J., ed. *Handbook of Aerospace Electromagnetic Compatibility*. Wiley-IEEE Press, 2018. ISBN 978-1-119-08278-1.
- [34] EASA. *Electrical System Description and Electrical Load Analysis: Example document* [online]. 2016 [cit. 2019-09-01]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/general-aviation/documents-guidance-and-examples>
- [35] H. W. HEINRICH. *Industrial Accident Prevention 4TH Edition a Scientific Approach*. MCGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1959.

- [36] CAA UK. *Final Report on the Helicopter Operations Monitoring Programme (HOMP) Trial: CAA PAPER 2002/02* [online]. [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAPAP2002_02.PDF
- [37] CASE a CAA UK. *Business Aviation Flight Data Monitoring Participating Operators Information Pack* [online]. 2015 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAP1308CASEParticipatingOperatorInformationPack.pdf>
- [38] R VAZ FERNANDES. *AN ANALYSIS OF THE POTENTIAL BENEFITS TO AIRLINES OF FLIGHT DATA MONITORING PROGRAMMES* [online]. 2002 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <http://www.aviassist.org/images/logo/Cranfield%20M.sc%20Thesis%20on%20Flight%20Data%20Monitoring.pdf>
- [39] EASA a ATR TRAINING CENTER. *FLIGHT DATA MONITORING ON ATR AIRCRAFT* [online]. 2016 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/16T0153_ATR_FDM_2016.pdf

Seznam tabulek

1.1	Přehled postupu klasifikace a schválení změny	16
2.1	Vybavenost letadla senzory [4]	19
2.2	Požadavky na odolnost dle [8] a [7]	23
2.3	Tabulka parametrů dle [7]	24
3.1	Předpisová základna a návrh průkazu	33
3.2	Kódy způsobů průkazu, převzato z [27]	34
4.1	Průřez vodičů dle [3]	36
5.1	Požadavky na údržbu dle [7] a [?]	38
5.2	Proudová zatížitelnost	40
5.3	Vztah mezi závažností poruchy a povolenou pravděpodobností poruchy dle [31]	41
5.4	Posouzení selhání funkce zapisovače	42
5.5	Posouzení selhání funkce zapisovače	43
5.6	Tabulka pro záznam EMC	45

Seznam obrázků

1.1	Proces klasifikace změny typového osvědčení. Vlastní zpracování dle [27]	15
2.1	LDR 1000 Lightweight Data recorder [17]	22
2.2	Vybavenost letadla III. Vlastní zpracování dle [4]	25
2.3	Vybavenost letadla I. Vlastní zpracování dle [4]	25
2.4	Sentinel ED-155 [18]	27
2.5	Apibox system modulární architektura [19]	28